

**Benefícios da termossonicação no  
processamento do requeijão cremoso**

**Rio de Janeiro  
2023**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DO RIO DE JANEIRO**

RAFAELLA SILVA MOURA

# **Benefícios da termossonicação no processamento do requeijão cremoso**

Dissertação apresentada ao Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro – Campus Rio de Janeiro, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Gomes da Cruz, Prof. José Ricardo Hassel Lopes e Prof. Dr. Jonas de Toledo Guimarães.

Rio de Janeiro  
2023

Ficha catalográfica elaborada por  
Anderson Morais Chalaça  
CRB7 5661

M869b Moura, Rafaella Silva.  
Benefícios da termossonicação no processamento do requeijão  
cremoso. / Rafaella Silva Moura. – Rio de Janeiro, 2023.  
97 f. : il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-Graduação em  
Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, 2023.

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Adriano Gomes da Cruz.  
Co-orientador: Prof.<sup>o</sup> Dr.<sup>o</sup> José Ricardo Hassel Lopes e Prof.  
Dr. Jonas de Toledo Guimarães.

1. Termossonicação. 2. Tecnologia emergente. 3. Requeijão  
cremoso – Processamento. I. Cruz, Adriano Gomes da. II.  
Titulo.

IFRJ/CMAR/CoBib

CDU 637.3:664.9:620.1

**Rafaella Silva Moura**

**Benefícios da termossonicação no processamento do requeijão cremoso**

Dissertação apresentada ao Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro – Campus Rio de Janeiro, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Aprovada em ...../...../.....

---

Prof. Dr.Hugo Scudino  
Universidade Federal Fluminense- UFF

---

Prof. Dr. Ramon Silva  
Universidade Federal Fluminense- UFF

---

Profa. Dra. Cassia Pereira Barros  
Universidade Federal Fluminense – UFF

Dedico este trabalho aos meus pais que sempre me incentivaram a vida acadêmica, apoiaram meus sonhos e aplaudiram minhas conquistas.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como mestrande, mas em todos os momentos.

Aos meus pais, Christiana da Rosa Silva e Sergio José de Azevedo Moura, por nunca terem medido esforços para me proporcionar um ensino de qualidade durante todo o meu período escolar, que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho.

Ao amigo, Gabriel Faria, que ao longo desta etapa me encorajou e me apoiou.

A todos os professores por me proporcionarem o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram a mim, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender. A palavra mestre, nunca fará justiça aos professores dedicados aos quais sem nominar terão os meus eternos agradecimentos.

Sou grata pela confiança depositada na minha proposta de projeto, pelos professores, Adriano Gomes da Cruz, José Ricardo Lopes Hassel e Jonas de Toledo Guimarães. Obrigada pelo apoio, orientações, ideias e correções, fazendo desta uma experiência inspiradora para mim.

Não posso deixar de agradecer à Universidade Federal Fluminense pelo espaço cedido para elaboração da minha pesquisa e ao Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, por ser um espaço que privilegia o conhecimento e que oportunizou a janela pela qual hoje vislumbro um horizonte superior.

A todos vocês o meu muito obrigada!

*“A mente que se abre a uma  
ideia, jamais voltará ao seu  
tamanho original”*

Albert Einstein

MOURA, R. S. **Benefícios da termossonicação no processamento do requeijão cremoso**. 2023. Dissertação. Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), *Campus* Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2022

## RESUMO

O requeijão cremoso é um tipo de queijo fundido bastante apreciado pelo consumidor brasileiro devido a sua praticidade e sabor. Contudo, cada vez mais os consumidores buscam por produtos saudáveis e de qualidade, sendo crucial o setor de lácteos se adequar a estas exigências. Assim, novas tecnologias estão sendo estudadas a fim de se adequar a este novo perfil de consumo. Entre estas tecnologias, pode-se destacar as tecnologias emergentes, como, por exemplo, a termossonicação. O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da termossonicação em substituição ao processo de fusão tradicional de um requeijão cremoso sobre suas características físico-químicas: cor, composição centesimal, perfil de ácidos graxos e voláteis, reológicas (dureza, adesividade, coesividade e gomosidade) e microscopia. Para o estudo foram desenvolvidos 4 tratamentos: CONV (requeijão preparado de forma tradicional), TS200 (requeijão submetido a potência de 200W), TS400 (submetido a potência de 400W) e TS600 (submetido a potência de 600W). As análises demonstraram que os requeijões submetidos a técnica de termossonicação apresentaram reduções significativas ( $p > 0,05$ ) na dureza, adesividade e gomosidade. Porém, não houve alteração significativa frente a coesividade. Em relação à cor, houve alterações significativas, em relação aos parâmetros ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ), resultando assim em produtos com maior luminosidade e brancura. Em relação ao perfil de ácidos graxos, no tratamento TS400 ocorreu aumento no teor de todos os ácidos graxos presentes na amostra, comprometendo, assim, os “índices de saúde” do produto. Entretanto, no TS600 constatou-se diminuição em todos os teores de ácidos graxos do produto, incluindo os saturados, indicando assim, um melhor “índice de saúde” (perfil trombogênico e hipercolesterolêmico). Conclui-se, que a técnica de termossonicação substituindo a fusão gerou produtos com características semelhantes em relação a composição centesimal, entretanto, houve alterações significativas em relação ao perfil de ácidos graxos e voláteis, dureza, microscopia e cor. Portanto, são necessários novos estudos a fim de avaliar se este produto atenderia as exigências do mercado consumidor.

**Palavras-chave:** Tecnologia Emergente; Produto Lácteo; Requeijão Termossonicado, Fusão.

## ABSTRACT

"Cream cheese is a type of melted cheese. It's a product highly appreciated by Brazilian consumers due to its convenience and taste. However, consumers are increasingly seeking healthier, high-quality products, making it crucial for the dairy industry to adapt to these demands. Thus, new technologies are being studied to meet this new consumer profile. Among these technologies, emerging ones such as thermosonication can be highlighted. The aim of this study was to investigate the effect of thermosonication as a replacement for the traditional melting process of cream cheese on its physicochemical characteristics, such as color, centesimal composition, fatty acid and volatile profiles, as well as rheological characteristics (hardness, adhesiveness, cohesiveness, and gumminess) and microscopy. Four treatments were prepared for the study: CONV (cream cheese prepared in the traditional way), TS200 (cream cheese subjected to 200W power), TS400 (subjected to 400W power), and TS600 (subjected to 600W power). The analyses showed that cream cheeses subjected to the thermosonication technique exhibited significant reductions ( $p < 0.05$ ) in hardness, adhesiveness, and gumminess. However, there was no significant change in cohesiveness. Regarding color, significant changes occurred in parameters ( $L^*$ ,  $a^*$ , and  $b^*$ ), resulting in products with higher luminosity and whiteness. Concerning the fatty acid profile, treatment TS400 showed an increase in the content of all fatty acids present in the sample, thus compromising the product's 'health indices.' However, in TS600, a decrease in all fatty acid contents of the product was observed, including saturated ones, indicating a better 'health index' (thrombogenic and hypercholesterolemic profile). It is concluded that the thermosonication technique as a replacement for melting resulted in products with similar characteristics in relation to centesimal composition. However, there were significant changes in terms of fatty acid and volatile profiles, hardness, microscopy, and color. Hence, further studies are necessary regarding these parameters in the face of the consumer market to assess whether this product would meet these demands."

**Keywords:** Emerging Technology; Dairy Product; Thermosonicated Cottage Cheese, Fusion

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1: Fluxograma de produção do requeijão cremoso 15
- Figura 2: Fenômeno de cavitação. (a) Formação de bolhas no requeijão por ondas sonoras, (b) crescimento de bolhas até o tamanho máximo alcançável e (c) colapso de partículas com consequente ruptura de membrana 21

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 Requisitos Microbiológicos legais de queijos fundidos no Brasil (valores máximos tolerados) pelo MAPA. | 16 |
| Tabela 2 Requisitos Microbiológicos legais de requeijão cremoso.  | 17 |
| Tabela 3 Requisitos físico-químicos exigidos pela legislação para confecção do requeijão cremoso no Brasil.     | 17 |
| Tabela 4: Requisitos sensoriais exigidos pela legislação para confecção de requeijão cremoso no Brasil          | 17 |

## Sumário

|   |    |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO.....                                      | 10 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO.....                             | 12 |
| 2.1 REQUEIJÃO CREMOSO.....                              | 12 |
| 2.1.1 PRODUÇÃO DO REQUEIJÃO CREMOSO TRADICIONAL.....    | 13 |
| 2.1.2 MASSA PARA FUSÃO.....                             | 15 |
| 2.1.3 SAIS FUNDENTES.....                               | 15 |
| 2.1.4 GORDURA.....                                      | 15 |
| 2.1.5 ÁGUA.....   | 16 |
| 2.1.6 LEGISLAÇÕES VIGENTES PARA REQUEIJÃO CREMOSO.....  | 16 |
| 2.2 TERMOSSONICAÇÃO.....                                | 18 |
| 2.2.1 FUNDAMENTOS DA TERMOSSONICAÇÃO.....               | 18 |
| 2.2.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS.....                     | 19 |
| 2.3 FUSÃO X TERMOSSONICAÇÃO.....                        | 20 |
| 3. HIPÓTESE.....  | 21 |
| 4. JUSTIFICATIVA.....                                   | 22 |
| 5. OBJETIVOS.....                                       | 23 |
| 5.1 OBJETIVO GERAL.....                                 | 23 |
| 5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....                          | 23 |
| 6. METODOLOGIA.....                                     | 24 |
| 6.1 PROCESSAMENTO DO REQUEIJÃO.....                     | 24 |
| 6.2 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS.....                       | 25 |
| 6.3 ANÁLISES DE PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS E VOLÁTEIS..... | 26 |
| 6.4 ANÁLISES DE COR.....                                | 26 |
| 6.5 REOLOGIA.....                                       | 26 |
| 6.6 MICROSCOPIA CONFOCAL DE VARREDURA A LASER.....      | 26 |
| 6.7 TESTE DE DERRETIMENTO.....                          | 27 |
| 6.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....                            | 28 |
| 7. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....                          | 29 |
| CAPÍTULO I.....   | 30 |
| CAPÍTULO II.....  | 40 |
| CAPÍTULO III.....                                       | 56 |
| 8. CONCLUSÃO DA TESE.....                               | 86 |
| ANEXOS.....   | 87 |
| 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                      | 94 |

## 1. INTRODUÇÃO

O requeijão é um produto lácteo tipicamente brasileiro, classificado como queijo de massa fundida que teve origem no final do século XIX. A sua principal diferença frente aos queijos processados é o fato de ser produzido a partir de massa fresca, fabricada para a fusão. Enquanto, os processados são produzidos a partir de queijos prontos ou maturados (PAULA, 2019).

O consumo do requeijão representa uma parcela considerável do mercado nacional (MOSTARO, 2021) devido a sua versatilidade, preço e sabor, além de poder ser fabricado com condições específicas para atender as necessidades do mercado. Podem ser fabricados desde produtos de consistência firme, os quais podem ser fatiados, até de consistência cremosa, a qual permite que sejam espalhados em superfícies de diversos alimentos (PAULA, 2019).

Diante das atuais demandas do mundo contemporâneo, em que todos têm acesso às novas tecnologias, a indústria de laticínios deve se adequar a esta tendência, uma vez que, o consumidor exige cada vez mais produtos saudáveis e de qualidade. Logo, é perceptível a necessidade de novas tecnologias e processos, que vise a redução de custos, o aproveitamento de subprodutos, o aumento de biodisponibilidade de compostos bioativos, a tecnologia limpa e outros (URANGO, 2021). Assim, há cada vez mais procura das indústrias alimentícias por tecnologias emergentes que possam atender a esses consumidores. Dentre as tecnologias emergentes, a termossonicação vem ganhando destaque na indústria de lácteos.

A termossonicação é definida como efeito sinérgico do campo acústico combinado com a aplicação de tratamentos térmicos moderados (BANSAL *et al*, 2018). Esses dois fatores associados promovem o processo de cavitação (ALARCON- ROJO *et al*, 2019). O mecanismo de cavitação resulta na formação de bolhas e sua compressão (pressão positiva) e rarefação (pressão negativa) que implodem ao atingir seu ponto crítico (ROSÁRIO *et al*, 2021). O fenômeno de implosão resulta em eventos de microjatos que promovem tensão de cisalhamento (sonoporação), capaz de produzir diversos efeitos sobre o alimento.

A aplicação da termossonicação oferece inúmeras vantagens na indústria alimentícia. Entre elas, é possível considerar: atoxicidade, uma vez que, as ondas de termossonicação são seguras ao ser humano e ao ambiente; eficiência frente a

inativação microbiana; apresenta menor custo operacional e facilidade de operação; não exige o uso de material sofisticado; possui alto rendimento quando comparada a outros métodos convencionais; versatilidade, pois pode ser utilizada para inúmeros processos, extração, emulsificação, homogeneização, inativação de enzimas (RANI *et al.*, 2020) e promove o aumento dos níveis de antioxidantes e compostos bioativos dos alimentos (LOPEZ *et al.*, 2021).

A produção do requeijão cremoso utilizando a técnica de termossonicação substituindo a etapa de fusão pode ser uma alternativa para a preservação das propriedades nutricionais e funcionais do produto. Adicionalmente, o menor tempo envolvido na termossonicação proporciona um menor gasto de energia, o que torna o processo econômico e melhora o caráter de sustentabilidade.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 REQUEIJÃO CREMOSO

O leite e seus derivados são considerados alimentos ricos nutricionalmente. Isso porque possuem em sua composição proteínas de alto valor biológico, minerais (cálcio, magnésio, potássio, zinco, fósforo) e vitaminas (riboflavina (B2), vitamina B12 e ácido pantotênico). Além disso, a proteína do leite encontra-se na forma biodisponível, sendo facilmente absorvida pelo organismo (GÓRSKA-WARSEWICZ *et al.*, 2019; SIQUEIRA, 2019).

Nos últimos anos, os queijos têm apresentado taxas de crescimento de vendas elevadas, estando presentes em 65,4% dos domicílios do Brasil. Tal fato pode ser atribuído principalmente às mudanças no perfil dos consumidores brasileiros que atualmente são formados, em sua maioria, por indivíduos jovens que demandam mais nutrição, praticidade, conveniência, entre outros atributos (SIQUEIRA, 2019).

Os queijos processados ou queijos fundidos são produtos elaborados a partir da mistura de um ou mais queijos (maturados ou frescos), gordura, água e sais fundentes, seguida da aplicação de calor e agitação. A aplicação de calor e agitação tem como intuito promover a fusão para obter uma emulsão homogênea e estável (CRUZ *et al.*, 2017).

O requeijão é um produto tipicamente brasileiro que se destaca entre os produtos lácteos. De acordo com a portaria 359/97 da legislação brasileira, o requeijão pode ser definido como: “Produto obtido pela fusão da massa coalhada, cozida ou não, dessorada e lavada, obtida por coagulação ácida e/ou enzimática do leite opcionalmente adicionado de creme de leite e/ou manteiga e/ou gordura anidra de leite ou butter oil. O produto poderá ser adicionado de condimentos especiais e/ou outras substâncias alimentícias. A denominação requeijão está reservada ao produto no qual a base láctea não contém gordura e/ou proteína de origem não láctea”.

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) classifica o requeijão de acordo com a matéria prima utilizada, o sal fundente e o teor de gordura e umidade do produto final em requeijão, requeijão cremoso e requeijão manteiga. Entre eles o requeijão cremoso é o mais utilizado pela indústria (CRUZ *et al.*, 2017).

O consumo de requeijão, além das características sensoriais, proporciona benefícios à saúde por conta de suas propriedades nutricionais. No entanto, novas

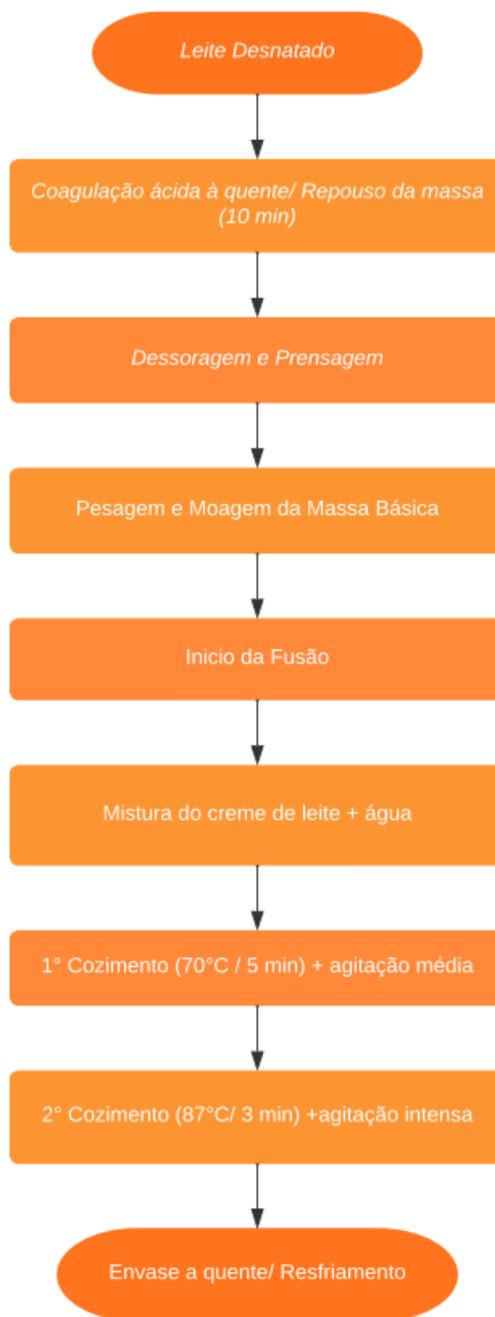
buscas do mercado consumidor por alimentos diferenciados e com elevado valor nutricional estão revolucionando o mercado de alimentos e, conseqüentemente, o mercado lácteo. Com isso, a indústria de laticínios está tendo que se reinventar para atender aos anseios de seus consumidores.

### 2.1.1 PRODUÇÃO DO REQUEIJÃO CREMOSO TRADICIONAL

Para a elaboração do requeijão cremoso, é realizado o processo de confecção dos queijos frescos tradicionais. Posteriormente, a pesagem, moagem e adição de sais fundentes na massa formada, a qual será submetida ao processo de fusão. O processo de fusão consiste em duas etapas, a primeira a 70°C por 5 minutos, que garante que a caseína se ligue às moléculas de água, no intuito de garantir firmeza à massa. Enquanto a segunda ocorre a 87°C por 3 minutos, o que garante a formação do aglomerado de caseína, devido às trocas de íons de  $\text{Ca}^{2+}$  por íons de  $\text{Na}^+$ , formando uma massa fundida (VAN DENDER, 2014). Por fim, o produto é envasado e resfriado (figura 1). Ao ser resfriado, há a reestruturação, que consiste na estabilização do produto por meio da reorientação das moléculas proteicas. Este processo pode ser feito de forma lenta ou rápida (SOBRAL *et al.*, 2017).

Em relação ao processo de fusão, é crucial abordar que são adicionados sais fundentes nesta etapa de produção. Os sais fundentes são produtos utilizados para estabilizar e fundir a massa para obter o requeijão cremoso. Esses sais são compostos por íons de  $\text{Na}^+$  que ao entrar em contato com a matriz do requeijão realizam trocas iônicas com os íons de  $\text{Ca}^{2+}$  formando aglomerados. Os sais fundentes mais utilizados são os polifosfatos, como os pirofosfatos de sódio e os polifosfatos de sódio (Joha S10). Isto ocorre porque estes sais cobrem uma ampla faixa de pH (2,5 - 12,0), apresentam maior capacidade de união com o cálcio que os outros fosfatos (solubilidade caseína), tem efeito peptizante e hidratante sobre as proteínas, não interferem no sabor natural do queijo e possuem uma boa ação bacteriostática. Contudo, o tipo e a quantidade de sal fundente a ser empregado dependerão: do tipo, idade, pH, grau de maturação e estrutura do queijo usado como matéria-prima (BEGER *et al.*, 1997).

Figura 1: Fluxograma de produção do requeijão cremoso.



Fonte: adaptado de Van Dender, (2014).

### 2.1.2 MASSA PARA FUSÃO

A massa utilizada para a confecção do requeijão pode ser obtida pelos métodos: enzimáticos com o uso de culturas lácticas ou adição direta de ácido láctico 85% (PAULA, 2019).

No processo de acidificação direta à quente com ácido orgânico há precipitação das caseínas ao atingir o pH 4,6 (ponto isoelétrico). O uso de calor concomitante ao ácido causa aumento na taxa de colisão entre as partículas, desidratando parcialmente as proteínas do leite e promovendo associações das frações de caseína com as proteínas desnaturadas do soro. O coágulo formado é um precipitado firme e ressecado. Contudo, tem caráter quebradiço, devido ao processo de desmineralização decorrente do pH 4,6 (PAULA, 2019).

### 2.1.3 SAIS FUNDENTES

A função dos sais fundentes é promover a mistura entre a gordura, a proteína e a água, buscando a obtenção de um produto estável (VAN DENDER, 2014). No Brasil, os sais fundentes são adquiridos já formulados, sendo utilizado de 2% a 3% em relação a massa fundida (FERNANDES *et al.*, 1985).

O sal fundente é um agente emulsificante inativador de íon cálcio, ou seja, ele é capaz de sequestrar o cálcio (BERGER *et al.*, 1989). Isto porque ao ser dissolvido na fase aquosa, o sal fundente rompe as pontes de fosfato de cálcio que existem entre as micelas e as submicelas de caseína, e as troca por sódio, formando assim uma estrutura proteica mais favorável para se ligar a água em suas porções hidrofílicas (CUNHA *et al.*, 2007). Além disso, a caseína mantém-se dispersa numa suspensão coloidal, ficando seus grupos polares e apolares expostos, o que permite a atuação emulsificante óleo-água.

### 2.1.4 GORDURA

A gordura influencia na textura e no sabor do requeijão (PAULA, 2019). De acordo com o regulamento técnico para a produção do requeijão (Portaria nº 359 de 1997), está prevista a adição de creme de leite e/ou manteiga e/ou gordura anidra de leite ou *butter-oil* (BRASIL, 1997). A adição da gordura torna o produto mais atraente por promover melhoria na cor, brilho, odor e sabor. Porém, a quantidade de gordura acrescida ao processo irá depender dos sólidos totais da massa inicial (CUNHA *et al.*,

2007), sendo que altos teores irão provocar interferências na qualidade do requeijão, causando despadronização do alimento (PAULA, 2019).

### 2.1.5 ÁGUA

A água é responsável pela transferência de energia térmica e mecânica durante o processo de fusão (VAN DENDER, 2014). Assim, esta desempenha uma importante função na dissolução do sal fundente, pois auxilia na dispersão de caseína e promove a formação da emulsão entre a proteína e gordura. A água pode ser adicionada juntamente aos demais ingredientes ou em duas etapas. A adição em duas etapas ocorre com o acréscimo da metade no início e a outra metade ao final do processo, o que facilita a sua absorção pela emulsão já formada, quando há necessidade de adição de um elevado volume de água.

### 2.1.6 LEGISLAÇÕES VIGENTES PARA REQUEIJÃO CREMOSO

Em relação às legislações vigentes para o requeijão cremoso podemos citar a portaria do Mapa 359/1997, a qual foi alterada pela 69/2019. Esta legislação é responsável por caracterizar o requeijão cremoso, assim como apontar os parâmetros microbiológicos e físico-químicos que este produto deve apresentar. Na tabela 1 e 2 é possível observar os parâmetros microbiológicos, enquanto na tabela 3 são apresentados os testes físico-químicos exigidos para a confecção do requeijão cremoso.

**Tabela 1** - Requisitos microbiológicos legais de queijos fundidos no Brasil (valores máximos tolerados) MAPA.

| <b>Parâmetros<br/>Microbiológicos</b> | Requeijão         | Requeijão<br>cremoso | Requeijão de<br>manteiga |
|---------------------------------------|-------------------|----------------------|--------------------------|
| Coliformes 30°C                       | 1x10 <sup>2</sup> | 1x10 <sup>2</sup>    | 1x10 <sup>2</sup>        |
| Coliformes 45°C                       | 10                | 10                   | 10                       |
| Bolores e leveduras                   |                   |                      |                          |
| Estafilococos coagulase<br>positiva   | 1x10 <sup>3</sup> |                      | 1x10 <sup>3</sup>        |

Fonte: Portaria 359/1997.

**Tabela 2** - Requisitos microbiológicos legais de requeijão cremoso

| <b>Requisitos Microbiológicos</b>  |       |       |         |          |
|------------------------------------|-------|-------|---------|----------|
| Coliformes/g (30°C)                | n = 5 | c = 2 | m = 10  | M = 100  |
| Coliformes/g (45°C)                | n = 5 | c = 2 | m < 3   | M = 10   |
| Estafilococos coagulase positiva/g | n = 5 | c = 2 | m = 100 | M = 1000 |

Fonte: Portaria 69/2019.

**Tabela 3** - Requisitos físico-químicos exigidos pela legislação para confecção do requeijão cremoso, segundo Regulamento Técnico para Fixação de Identidade e Qualidade do Requeijão ou Requesón

| <b>Parâmetros Físico-químicos*</b> |
|------------------------------------|
| Gordura                            |
| Matéria gorda no extrato seco      |

\*Fonte: Portaria 359 de 04/09/1997 (BRASIL, 1997).

Além dos parâmetros microbiológicos e físico-químicos exigidos pelas legislações, um produto inovador deve atender aos parâmetros sensoriais exigidos pelo mercado consumidor. Assim, realizar análises sensoriais é crucial para determinar se esse produto inovador está apto ou não para o mercado. Na tabela 4, é possível observar alguns aspectos que são avaliados para a caracterização do requeijão cremoso.

**Tabela 4** - Requisitos sensoriais exigidos pela legislação para confecção do requeijão cremoso.

| <b>Características Sensoriais</b> |   |
|-----------------------------------|---|
| Consistência                      | Untável                                       |
| Textura                           | Creмоса                                       |
| Formato                           | Variável                                      |
| Cor                               | Característico                                |
| Odor                              | Característico                                |
| Sabor                             | Creme levemente ácido, opcionalmente salgado. |

Fonte: Portaria 359/1997.

## 2.2 TERMOSSONICAÇÃO

### 2.2.1 FUNDAMENTOS DA TERMOSSONICAÇÃO

A termossonicação é definida como uma técnica que usa ondas sonoras com frequência que excedem o limite de audição do ouvido humano (20KHz) combinadas, simultaneamente, ao calor (RANI *et al.*, 2020). Esta técnica pode ser dividida em: termossonicação de baixa potência e termossonicação de alta potência (ARRUDA *et al.*, 2021).

A termossonicação de baixa potência é utilizada na indústria de alimentos no intuito de avaliar as propriedades físico-químicas, como composição e estrutura dos alimentos. Já a termossonicação de alta potência tem sido aplicada em aspectos mais amplos, como cristalização, emulsificação, secagem, congelamento, inativação de enzimas, entre outros processos (ARRUDA *et al.*, 2021).

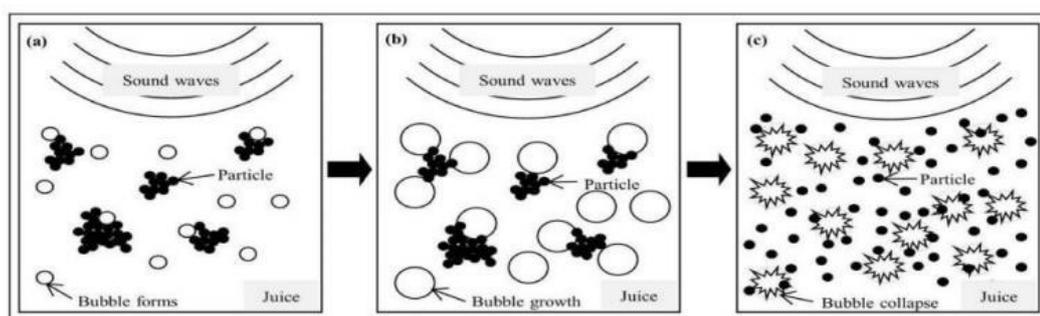
Os fundamentos dessa técnica são baseados em um sistema de produção de ondas ultrassônicas, o qual contém um gerador, um transdutor e um sistema de aplicação. O gerador tem a finalidade de produzir energia elétrica para o sistema. Após essa produção, o transdutor converte essa energia elétrica em energia sonora em frequências ultrassônicas. Por fim, há transferência dessas vibrações para a amostra através do sistema de aplicação (RANI *et al.*, 2020). Estes sistemas de aplicação podem ser do tipo direto (sondas) ou indireto (banho).

Em relação aos princípios do processo de termossonicação é crucial retornarmos à definição de som para que, possamos compreender os fundamentos por trás dessa técnica (URANGO *et al.*, 2021). O som é uma onda mecânica que se propaga longitudinalmente, promovendo compressão e rarefação do ar atmosférico devido a variações instantâneas de pressão (URANGO *et al.*, 2021). Logo, ao transferir uma onda sônica a um material alimentar líquido são criadas regiões de compressão e expansão alternadas de partículas no meio (SACHIN *et al.*, 2020). Essas regiões de mudança de pressão causam a cavitação do meio. A cavitação é um fenômeno físico que forma micro-bolhas ou cavidades cheias de vapores devido a alta pressão negativa exceder a resistência à tração do líquido. Essas bolhas absorvem pequenas quantidades de vapor do líquido e continuam a crescer (URANGO *et al.*, 2021). Entretanto, chega-se a um ponto em que a energia ultrassônica fornecida não é suficiente para reter a fase de vapor na bolha, ocorrendo assim, uma rápida condensação. Em seguida, as moléculas condensadas colidem

violentamente, criando ondas de choque. Essas ondas de choque criam regiões de elevadas temperaturas e pressões, podendo atingir 5000 K de temperatura e 2000 bar de pressão, colapsando-se assim as bolhas e liberando energia, a qual pode se apresentar na forma de microjatos, calor ou reações químicas com formação dos radicais livres (SACHIN *et al.*, 2020).

Microjatos, calor e reações químicas, conforme mencionado anteriormente, são consequências do processo de cavitação dos alimentos. Os microjatos promovem forças de cisalhamento nas superfícies externas dos tecidos celulares, na parede células dos microrganismos e nas partículas, como grânulos de amido e cristais de açúcar promovendo assim a morte dos microrganismos, ruptura dos tecidos vegetais e modificações nas estruturas secundárias e terciárias das proteínas. Além disso, espécies reativas podem ser formadas contribuindo para a inativação de microrganismos (URANGO *et al.*, 2021). Estes processos desencadeados pela cavitação são passíveis de mudanças de acordo com alterações nas frequências ultrassônicas, viscosidade, tensão superficial, pressão de vapor, diâmetro da sonda e formato da sonda, uma vez que afetam diretamente o fenômeno de cavitação.

**Figura 2:** Fenômeno de cavitação. (a) Formação de bolhas no suco por ondas sonoras; (b) crescimento de bolhas até o tamanho máximo alcançável e (c) colapso de partículas com consequente ruptura celular.



Adaptado de SACHIN *et al.*, (2020).

## 2.2.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS

A aplicação da termossonicação oferece inúmeras vantagens na indústria alimentícia. Entre elas é possível considerar: atoxicidade, uma vez que as ondas de termossonicação são seguras ao ser humano e ao ambiente; eficiente frente a inativação microbiana; possui menor custo operacional e facilidade de operação; não exige o uso de material sofisticado; possui alto rendimento frente aos outros métodos

convencionais; versátil, pois pode ser utilizada para inúmeros processos, como a extração, a emulsificação, a homogeneização, a inativação de enzimas (RANI *et al.*, 2020) e promove o aumento dos níveis de antioxidantes e compostos bioativos dos alimentos (LOPEZ *et al.*, 2021). No entanto, como todo método, este também apresenta desvantagens, das quais se destacam: inativação de pigmentos e vitaminas, devido ao estresse de cisalhamento promovido pelas ondas de choque; degradação de componentes termolábeis; produção de radicais livres; diminuição da transferência de massa (RANI *et al.*, 2020, LOPEZ *et al.*, 2021); maior controle da temperatura, uma vez que seu controle é crucial para garantir a eficácia do processo (URANGO *et al.*, 2021); dificuldade em converter esse processo na escala industrial é possível erosão dos sonotrodos, o que pode promover gosto metálico nos alimentos (ARRUDA *et al.*, 2020).

### 2.3 FUSÃO X TERMOSSONICAÇÃO

A substituição do processo de fusão pela termossonicação permite inúmeras vantagens, como: menor custo de processo; menor impacto ambiental, uma vez que há maior rapidez no processo e menor custo energético; maior preservação dos compostos bioativos, caso sejam adicionados compostos funcionais, como por exemplo, os ácidos fenólicos; melhores resultados frente às características físico-químicas como a taxa de derretimento e o índice de brancura e por fim, poderá apresentar grande relevância em relação aos ácidos graxos e voláteis, proporcionando produtos de qualidade e de tecnologia verde (BELSITO, 2016; URANGO *et al.*, 2021) .

### **3. HIPÓTESE**

O desenvolvimento de um requeijão cremoso elaborado pela técnica de termossonicação provavelmente atenderia ao mercado consumidor, mais consciente da importância de uma alimentação saborosa e nutritiva, que agregue benefícios à saúde e com menor impacto ambiental (tecnologia verde). Isso porque ao desenvolver um produto que substitua a fusão, poderia reduzir a temperatura de processamento, melhorando as características funcionais do produto, assim como, elaborar produtos com menor tempo de produção e menor gasto energético.

#### 4. JUSTIFICATIVA

O requeijão é um tipo de queijo fundido caracterizado como um produto genuinamente brasileiro pelas peculiaridades de sua fabricação (VAN DENDER, 2014). Este produto é um derivado lácteo de fácil elaboração e de grande aceitação em todo o território nacional, sendo crescente o seu consumo nas últimas décadas (CANCELLIERO, 2007). Além disso, este produto ganha destaque por se adaptar a pequenas variações em seus processos convencionais, visando assim, atender às expectativas do mercado consumidor (SILVA, 2020).

Atualmente, sabe-se que há uma demanda cada vez maior por alimentos de elevada qualidade nutricional e bom custo benefício. Em decorrência deste fato, as indústrias alimentícias têm buscado a aplicação de tratamentos térmicos alternativos com objetivo de desenvolver alimentos com maior valor nutricional. Neste contexto, a termossonicação tem se mostrado uma técnica promissora. Mas ainda são necessários estudos para elucidar todos os aspectos de sua aplicação na linha de produção.

A termossonicação é um dos métodos de tecnologia de ultrassom, que combina calor moderado, em torno de 37 a 75 °C, com tratamento de ondas de ultrassom de baixa frequência (20 kHz). Através dessa técnica é possível desencadear a inativação de enzimas e microorganismos patogênicos (LEE *et al.*, 2013), promover a homogeneização, diminuição do tamanho das micelas de caseína e aumento de compostos bioativos, entre outros (FIROUZ *et al.*, 2019). Além disso, esta técnica tem menor consumo de energia e menor geração de resíduos, podendo assim ser considerada uma tecnologia verde.

Neste contexto, percebe-se como é essencial garantir produtos de qualidade e que atendam as demandas dos consumidores segundo aspectos sensoriais e nutricionais. A produção do requeijão cremoso utilizando a técnica de termossonicação substituindo a etapa de fusão pode ser uma alternativa para a preservação das propriedades nutricionais e funcionais do produto. Adicionalmente, o menor tempo envolvido na termossonicação proporciona um menor gasto de energia, o que torna o processo econômico e melhora o caráter de sustentabilidade.

## 5. OBJETIVOS

### 5.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo do trabalho é utilizar a termossonicação como alternativa a fusão no processamento do requeijão cremoso e verificar seu impacto nos parâmetros de qualidade do produto.

### 5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar 4 formulações de requeijões cremosos (1 convencional e 3 através do processo de termossonicação).
- Realizar análises físico-químicas (teor de umidade, proteína, gordura, gordura no extrato seco), no intuito de verificar se o produto elaborado está dentro dos requisitos físico-químicos exigidos pelas normas vigentes.
- Identificar o perfil de ácidos graxos e voláteis.
- Aplicar análises de textura, derretimento e cor, na finalidade de verificar a equiparidade frente ao requeijão cremoso tradicional.
- Avaliar os parâmetros reológicos
- Avaliar glóbulos de gordura por Microscopia Confocal de Varredura a laser.

## 6. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para esse estudo foi a pesquisa aplicada, descritiva de procedimento experimental e abordagem qualitativa e quantitativa.

### 6.1 PROCESSAMENTO DO REQUEIJÃO

As formulações e etapas foram preparadas de acordo com SILVA *et al* (2022), com adaptações na etapa de fusão.

Testes preliminares foram realizados a fim de definir as potências ultrassônicas. Após estes testes foram determinados as potências de 200 W, 400 W e 600 W para a realização do projeto.

Neste experimento foram elaboradas 4 diferentes formulações de requeijões cremosos tradicionais:

- CONV (Requeijão cremoso produzido de forma convencional).
- TS200 (Requeijão cremoso produzido pelo processo de termossonicação na potência de 200W).
- TS400 (Requeijão cremoso pelo processo de termossonicação na potência de 400W).
- TS600 (Requeijão cremoso produzido pelo processo de termossonicação na potência de 600W).

Os cálculos das quantidade de água, sal fundente e creme de leite a serem adicionados foram feitos visando a obtenção de requeijões com 45% de massa.

**Tabela 5** - Formulação do requeijão tradicional

| Ingredientes | Teor (%) | Quantidade (g) |
|--------------|----------|----------------|
| Massa Fresca | 45       | 393            |
| Creme        | 41       | 358            |
| Sal (NaCl)   | 0,4      | 3,5            |
| Sal Fundente | 1        | 8,73           |
| Água         | 12,6     | 110            |
| Total        | 100      | 873,23         |

## 6.2 FABRICAÇÃO DO REQUEIJÃO

Para a fabricação da massa obtida por coagulação ácida a quente foram utilizados 2 litros de leite integral pasteurizado aquecido a 80°C. Depois de aquecido, foi adicionado ao leite, 0,4% de ácido láctico 85% e agitado até verificação da precipitação do leite com liberação do soro. Após o processo de dessoragem, a massa obtida foi lavada três vezes, no intuito de aumentar o pH. Logo após a formação da massa, esta foi pesada e foram adicionados os demais ingredientes, conforme a tabela 5. Em seguida, foram separadas 4 amostras em béquer com capacidade de 250mL e identificados conforme tabela 6. Logo após, foi realizado o processo de fusão para o béquer 1, através de placa de aquecimento com agitação à 80°C por 1 minuto. Simultaneamente, foram realizadas a termossonicação nos béqueres 2, 3 e 4, utilizando uma placa de aquecimento à 80°C e um aparelho sonda de ultrassom (QR750, Ultronique Disruptor/ Sonicator, São Paulo, Brasil) com sonda de 13 mm, operando a 20 kHz em diferentes potências nominais (200, 400 e 600 W). Todas as amostras foram envadas em potes plásticos de polipropileno e armazenadas entre 0- 5°C até a realização das análises.

**Tabela 6** - Identificação dos béqueres a partir dos tratamentos aos quais foram submetidos.

| Potes | Identificação | Tratamentos             |
|-------|---------------|-------------------------|
| 1     | CONV          | Fusão (80°C /1 min)     |
| 2     | TS200         | Termossonicação a 200 W |
| 3     | TS400         | Termossonicação a 400 W |
| 4     | TS600         | Termossonicação a 600 W |

## 6.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

As análises físico-químicas foram realizadas no terceiro dia de estocagem refrigerada e compreenderam o pH, composição centesimal (umidade, proteínas, lipídios e gordura no extrato seco), características reológicas (perfil de textura) e derretimento. Todas as análises foram realizadas seguindo metodologia oficial (Brasil, 2006).

#### 6.4 ANÁLISES DE PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS E VOLÁTEIS

Foram realizadas as análises de perfil de ácidos graxos e ácidos voláteis através de cromatografia gasosa acoplada ao espectrômetro de massas, conforme recentemente disponível na literatura SILVA *et al.* (2021).

#### 6.5 ANÁLISES DE COR

A mensuração da cor foi realizada em três determinações separadas de cada um dos quatro tratamentos de requeijão a  $5 \pm 2$  °C no primeiro dia de estocagem, utilizando um colorímetro portátil (CR-410, Minolta Sensing Konica, Inc., Tóquio, Japão). As coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  foram obtidas através da escala CIE, em que  $L^*$  determina medida de luminosidade,  $a^*$  a variação de verde (-) para vermelho (+) e  $b^*$  de azul (-) para amarelo (+), utilizando o iluminante D65 e observador em 10°. Os parâmetros de ângulo de tonalidade ( $h$ ), croma ( $C^*$ ) e índice de brancura (WI) também foram avaliados.

#### 6.6 REOLOGIA

As medidas reológicas foram realizadas conforme Belsito *et al.* (2017) utilizando testes de fluxo em estado estacionário e fluxo oscilatório dinâmico em um reômetro do tipo rotacional Paar Physica MCR 300 (Anton Paar GmbH, Graz, Áustria), com geometria cone-placa (4 cm, 2°), 1 mm de folga e sistema de controle de temperatura Physica TEK 150P. As amostras foram colocadas na placa e deixadas em repouso a  $10 \pm 0,1$  °C por 10 min para recuperação da estrutura.

#### 6.7 MICROSCOPIA CONFOCAL DE VARREDURA A LASER

A microscopia eletrônica de varredura é uma técnica valiosa na pesquisa de laticínios. Isso porque através dessa técnica é possível fornecer informações sobre a microestrutura de produtos lácteos, a qual está relacionada com as propriedades físicas (BELSITO, 2016). As amostras foram coradas com vermelho do Nilo (NR, Sigma, Brasil, 200 mg mL<sup>-1</sup>, 15 min, temperatura ambiente) e analisadas em epifluorescência microscópio (Leica DMI 6000B, Wetzlar, Alemanha) usando um HCX Objetiva PLFLUO TAR 100×1,30. Uma gota de amostra foi incluída em uma lâmina e coberta com lamínula. As amostras foram excitadas usando uma Lâmpada refletora de arco curto de mercúrio Leica EL6000, uma fluorescência Leica I3 cubo de filtro (com um filtro de excitação BP 450–490 nm, um espelho dicromático de 510 nm) e um

filtro de supressão LP 515 nm, de acordo com BALTHAZAR *et al* (2017). A imagem do software foi usada para estimar o diâmetro do lipídio corado com vermelho do Nilo gotículas (LDs) de imagens (n = 300 LDs por amostra) (SCHNEIDER *et al.* 2012).

## 6.8 TESTE DE DERRETIMENTO

Para o teste da capacidade de derretimento utilizou-se o método descrito por Olson e Price (1958).

As amostras de 5,00g  $\pm$ 0,20g de requeijão cremoso (CONV, TS200, TS400 e TS600) foram colocadas diretamente dentro do tubo de derretimento. Após a pesagem das amostras nos respectivos tubos, estes foram colocados na posição horizontal sobre um suporte de alumínio e submetidos à estufa por 110°C. Passados 8 minutos, o suporte foi retirado da estufa e inclinado a 45° para interromper o fluxo do requeijão. Logo após, foi marcada a distância do fluxo a partir da linha de referência até a borda da amostra derretida. Em seguida, retornou-se o suporte a posição horizontal e colocou-se por mais 2 minutos na estufa, atingindo o tempo total de 10 minutos, repetindo-se a marcação da distância percorrida pelo requeijão no tubo. Essa distância, medida em mm, no total de 10 minutos é denominada “fluxo de queijo” e usada como medida da capacidade de derretimento (SOBRAL, 2007).

## 6.9 PERFIL DE TEXTURA INSTRUMENTAL

As análises de perfil de textura dos requeijões foram realizadas após o terceiro dia de armazenamento refrigerado. A avaliação se deu por meio da análise do perfil de textura (TPA), utilizando um texturômetro TA.XT EXPRESS (Stable Micro Systems). Os parâmetros avaliados foram: dureza, adesividade, gomosidade e coesividade.

Durante os ensaios, as amostras foram comprimidas por um cilindro de 25 mm de diâmetro (SMS P/36R), distância de compressão 35% de altura do produto, a velocidade do teste 5 mm/s, 10kg célula de carga de 2 ciclos de penetração e 6 repetições.

Os testes e coletas de dados foram realizados pelo software computacional Exponent Lite Express (Stable Micro System). A partir da curva obtida (força x tempo), foram calculados os parâmetros avaliados.

## 6.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises serão avaliadas através de Análise de Variância (ANOVA) e Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, utilizando programa estatístico XLSTAT versão 2020 (Adinsoft, Paris, França).

## 7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e discussão da presente dissertação são expostos na forma de três artigos científicos. O Capítulo I refere-se ao manuscrito intitulado **“Termossonicação: Fundamentos e suas aplicações em produtos lácteos”**, publicado na Revista Indústria de Laticínios. O Capítulo II refere-se ao manuscrito intitulado **“Termossonicação: Aplicações em produtos alimentícios”** submetido à Revista Food Ingredients e o capítulo III refere-se ao manuscrito intitulado **“Benefits of thermosonication in dairy products: how ultrasound power affects the technological properties of “requeijão cremoso”** que será submetido a Revista Ultrasonics Sonochemistry.

## CAPÍTULO I

### TERMOSSONICAÇÃO: FUNDAMENTOS E SUAS APLICAÇÕES EM PRODUTOS

#### LÁCTEOS

Rafaella Silva Moura<sup>1</sup>, Jonas de Toledo Guimarães<sup>2</sup>,  
Jose Ricardo Hassel Lopes<sup>1</sup>, Adriano Gomes da Cruz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFRJ), Departamento de Alimentos

<sup>2</sup> Universidade Federal Fluminense (UFF), Faculdade de Veterinária

#### INTRODUÇÃO

Os tratamentos térmicos convencionais, como pasteurização e esterilização, têm sido aplicados em produtos alimentícios (URANGO *et al*, 2021) no intuito de garantir a qualidade microbiológica, promovendo maior vida útil e qualidade aos mesmos (ARRUDA *et al*, 2021). Contudo, é notório que alguns desses tratamentos podem impactar negativamente nas características sensoriais, assim como diminuir o valor nutritivo dos alimentos. Logo, as tecnologias de processamentos que assegurem alimentos saudáveis com alto valor nutricional e seguros estão cada vez mais sendo procuradas pelas indústrias alimentícias. Entre as intrigantes buscas por processos alternativos, a técnica de termossonicação ganha destaque (FIROUZ *et al*, 2019).

A termossonicação é um método combinado de sonicação e calor, no qual o produto é submetido a ultrassom e calor moderado simultaneamente (SACHIN *et al*, 2020). Através dessa técnica é possível gerar energia, proveniente das ondas sonoras de frequências superiores aos limites de faixa audível humana (acima de 20 kHz). Ao acoplar a técnica de sonicação com o tratamento térmico, inúmeras vantagens podem ser obtidas tais como: aumento das mortes microbianas, que contribui para promover maior conservação dos alimentos; mínima perda de sabor

dos alimentos; economia

significativa de energia devido aos menores tempos de processamento; aumento do valor nutricional dos alimentos ao promover a diminuição na perda de flavonoides e de outros bioativos, bem como da inativação enzimática (RANI *et al*, 2020); contribuição na preservação ambiental, uma vez que é uma técnica considerada verde, devido à não utilização de reagentes químicos tóxicos para a realização dos procedimentos (ARRUDA *et al*, 2021).

Muitos estudos destacam a possibilidade de utilizar essa técnica em diversos alimentos como os produtos lácteos (ARRUDA *et al*, 2021), tendo em vista que esse método poderia ser amplamente utilizado para subsidiar várias tecnologias de processamento dos alimentos, tais como: cristalização, congelamento, branqueamento, desgaseificação, extração, secagem, emulsificação, filtração, homogeneização e esterilização (URANGO *et al*, 2021) além de diminuir as alterações nas propriedades físico-químicas e sensoriais dos alimentos (textura, cor e sabor). Todavia, novos estudos são de extrema necessidade para que haja superação dos desafios que essa técnica apresenta visando sua aplicação em escala industrial e a garantia de repetibilidade do processo (ARRUDA *et al*, 2021).

## FUNDAMENTOS DA TERMOSSONICAÇÃO

A termossonicação é definida como ondas sonoras com frequência que excede o limite de audição do ouvido humano (20kHz) combinadas, simultaneamente, ao calor (RANI *et al*, 2020). Esta técnica pode ser dividida em duas classes: a termossonicação de baixa potência e a termossonicação de alta potência (ARRUDA *et al*, 2021).

A termossonicação de baixa potência é utilizada na indústria de alimentos no intuito de avaliar as propriedades físico-químicas, como composição e estrutura dos

alimentos. Já a termossonicação de alta potência tem sido aplicada em aspectos mais amplos, como cristalização, emulsificação, secagem, congelamento, inativação de enzimas, entre outros processos (ARRUDA *et al*, 2021).

Os fundamentos dessa técnica são baseados em um sistema de produção de ondas ultrassônicas, no qual contém um gerador, um transdutor e um sistema de aplicação. O gerador tem a finalidade de produzir energia elétrica ao sistema, após essa produção, o transdutor converte essa energia elétrica em energia sonora em frequências ultrassônicas. Por fim, há transferência dessas vibrações para a amostra através do sistema de aplicação (RANI *et al*, 2020). Estes sistemas de aplicação podem ser do tipo direto (sondas) ou indireto (banho).

Em relação aos princípios do processo de termossonicação é crucial retornarmos à definição de som para que assim possamos compreender em totalidade os fundamentos por trás dessa técnica (URANGO *et al*, 2021). O som é uma onda mecânica que se propaga longitudinalmente, promovendo compressão e rarefação do ar atmosférico devido às variações instantâneas de pressão (URANGO *et al*, 2021). Logo, ao transferir uma onda sônica a um material alimentar líquido são criadas regiões de compressão e expansão alternadas de partículas no meio (SACHIN *et al*, 2020) e assim essas regiões de mudança de pressão causam cavitação do meio. A cavitação é um fenômeno físico pelo qual são formadas microbolhas ou cavidades cheias de vapores, pelo fato da alta pressão negativa exceder a resistência à tração do líquido. Essas bolhas absorvem pequenas quantidades de vapor do líquido e continuam a crescer (URANGO *et al*, 2021). Contudo, chega-se a um ponto em que a energia ultrassônica fornecida não é suficiente para reter a fase de vapor na bolha, ocorrendo assim, uma rápida condensação. Logo após, as moléculas condensadas colidem violentamente, criando ondas de choque. Essas ondas de choque criam

regiões de elevadas temperaturas e pressões, podendo atingir 5000K de temperatura e 2000 bar de pressão, colapsando as bolhas e liberando energia, a qual pode se apresentar na forma de microjatos, calor ou reações químicas com formação dos radicais livres (SACHIN *et al*, 2020).

Microjatos, calor e reações químicas, como mencionado anteriormente, são consequências do processo de cavitação dos alimentos. Os microjatos formados promovem forças de cisalhamento nas superfícies externas dos tecidos celulares, na parede células dos microrganismos e nas partículas, como grânulos de amido e cristais de açúcar, promovendo assim a morte celular, ruptura dos tecidos vegetais e modificações nas estruturas secundárias e terciárias das proteínas. Além disso, espécies reativas podem ser formadas, contribuindo para a inativação de microrganismos (URANGO *et al*, 2021). Estes processos desencadeados pela cavitação não possuem uma natureza estática, e sim, são passíveis de mudanças em conformidade às alterações nas frequências ultrassônicas, viscosidade, tensão superficial, pressão de vapor, diâmetro e formato da sonda, uma vez que afetam diretamente o fenômeno de cavitação.

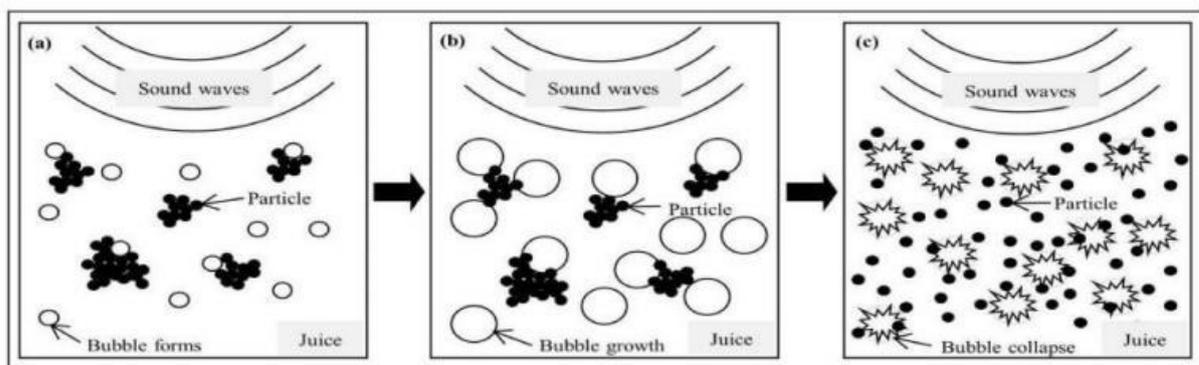


Figura 1: Fenômeno de cavitação. (a) Formação de bolhas no suco por ondas sonoras; (b) crescimento de bolhas até o tamanho máximo alcançável e (c) colapso de partículas com consequente ruptura celular (ADAPTADO: SACHIN *et al*, 2020).

#### VANTAGENS E DESVANTAGENS

A aplicação da termossonicação oferece inúmeras vantagens na indústria

alimentícia, entre elas podemos considerar: não toxicidade, uma vez que as ondas de termossonicação são seguras ao ser humano e ao ambiente; é um processo eficaz frente à inativação microbiana; apresenta menor custo operacional e facilidade de operação; não apresenta necessidade de material sofisticado; envolve menor perda de sabor e maior consistência dos alimentos; apresenta alto rendimento frente aos outros métodos convencionais; pode ser utilizada para inúmeros processos de extração, emulsificação, homogeneização, inativação de enzimas (RANI *et al*, 2020) e promove o aumento dos níveis de antioxidantes e compostos bioativos dos alimentos (LOPEZ *et al*, 2021). Contudo, como todo método, este também apresenta desvantagens, nas quais se pode destacar: inativação de pigmentos e vitaminas (LOPEZ *et al*, 2021), devido ao estresse de cisalhamento promovido pelas ondas de choque; degradação de componentes termolábeis; produção de radicais livres; diminuição da transferência de massa (RANI *et al*, 2020); maior rigor no controle da temperatura que é crucial para garantir a eficácia do processo (URANGO *et al*, 2021); dificuldade em converter esse processo na escala industrial é possível erosão dos sonotrodos, podendo promover gosto metálico nos alimentos (ARRUDA *et al*, 2020) .

## APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA DE PRODUTOS LÁCTEOS

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 cortes, desidratação, homogeneização, secagem, emulsificação, filtração, entre outros (FIROUZ *et al*, 2019).

Nos produtos lácteos, como leites e seus derivados, a termossonicação tem apresentado efeitos positivos, como: diminuição do glóbulo de gordura; aumento da estabilidade; diminuição da desnaturação proteica; aumento da viscosidade aparente,

dureza e firmeza; aumento da homogeneidade; entre outros (LOPES *et al*, 2021), conforme mostrado na figura 1.

A diminuição do glóbulo de gordura nos leites é crucial, uma vez que esse fator impacta diretamente no processo de emulsificação, o qual é desencadeado pelas vibrações acústicas que levam à dispersão de gotículas de gordura na fração aquosa do leite através da turbulência e por fim ocorre a cavitação, a qual irá promover a quebra das gotículas (LOPES *et al*, 2021).

Outro aspecto que se pode abordar da técnica de termossonicação a baixas potências aplicada aos produtos lácteos é em relação à intensificação do crescimento microbiano. Tal fato decorre da cavitação que, ao liberar microjatos aumentam a porosidade celular, e conseqüentemente auxilia a transferência de oxigênio e substratos para o interior das células (LOPES *et al*, 2021). Contudo, a termossonicação a altas potências, provoca a deterioração microbiana e, neste caso, o processo de cavitação acústica por promover a formação de microbolhas seguida de imediato colapso vai resultar em: grandes taxas de microcisalhamento nas paredes celulares dos microrganismos (FIROUZ *et al*, 2019); alterações das estruturas dentro das células; modificação da estabilidade enzimática; ruptura do núcleo e liberação do DNA (LOPES *et al*, 2021).

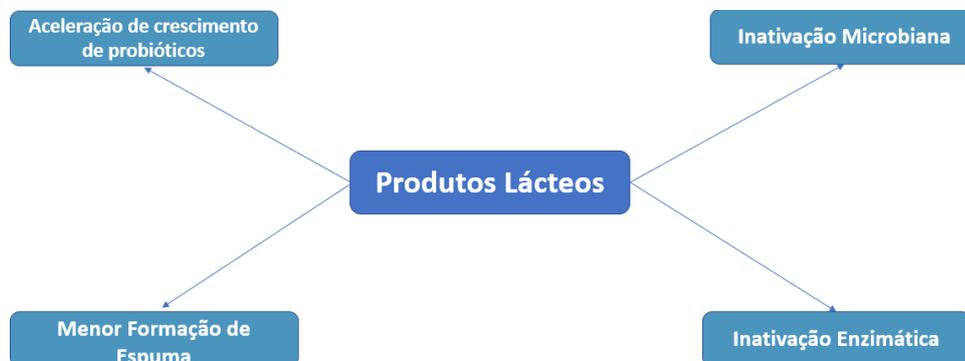
Como abordado anteriormente, a termossonicação promove a modificação da estabilidade enzimática, resultando assim, em perda da atividade. Esta perda pode gerar efeitos benéficos aos produtos lácteos, uma vez que pode retardar a oxidação lipídica e inativar proteases, promovendo maior tempo de prateleira dos laticínios (SACHIN *et al*, 2020).

A homogeneização é outro processo que ganha destaque ao relacionar produtos lácteos ao processo de termossonicação (LOPES *et al*, 2021). Ela refere-se

à etapa de passagem do leite pelo homogeneizador, no intuito de subdividir os glóbulos de gordura para melhor desenvolvimento dos produtos. Através desta etapa, é possível promover a estabilização da gordura, melhorar a textura e inibir sabor oxidativo nos leites (SACHIN *et al*, 2020), Percebe-se que esta etapa é crucial para garantir qualidade, tanto sensorial quanto físico-química, aos produtos, contudo vai gerar custos de energia às indústrias. Vale ressaltar que ao aplicar a técnica de termossonicação podem-se realizar duas etapas em uma só, como por exemplo, a pasteurização concomitante à homogeneização, gerando assim, maiores economias e elevada qualidade ao produto elaborado.

Compostos funcionais são destacados por seu alto potencial para proteger o corpo contra espécies reativas (LOPES *et al*, 2021). Diversos estudos têm demonstrado um aumento na atividade antioxidantes de leite e seus derivados ao serem submetidos a técnica de termossonicação (FIROUZ *et al*, 2019), uma vez que, através dessa técnica pode-se aumentar a biodisponibilidade de compostos tais como: enxofre, vitaminas A, E, carotenoides, entre outros. Esses resultados são comprovados por estudo recente em sobremesa láctea de jambolão, onde o uso da termossonicação foi capaz de aumentar os compostos bioativos e retardar o crescimento de bolores e leveduras, bactérias lácticas e microrganismos aeróbios mesófilos (LINO *et al.*, 2022).

**Figura 1:** Aplicações da termossonicação em produtos lácteos



## CONCLUSÃO

A termossonicação tem se mostrado promissora para a indústria de leite e derivados, pois através dela é possível obter a inativação de microrganismos e enzimas, melhorar a homogeneização, aumentar a viscosidade, aumentar a retenção de água, intensificar a disponibilidade de compostos bioativos, melhorar a textura e cor dos produtos lácteos, proporcionando assim um menor impacto na qualidade nutricional e sensorial dos alimentos em comparação com os tratamentos térmicos severos. Além disso, os efeitos indesejáveis desta tecnologia emergente sobre aspectos de qualidade dos produtos alimentícios podem ser minimizados pela modulação das condições de processo de termossonicação. Contudo, novos estudos são extremamente necessários para conseguir elucidar os mecanismos e os parâmetros de utilização em diversos produtos lácteos.

## REFERÊNCIAS

- ALTAF, UZMA & AYAZ, QUDSIYA & ROUF, A & KANOJIA, VARSHA & ZARGAR, IMTIYAZ. (2018). Ultrasound treatment: A novel processing technique for food preservation. *Natural Science*, 5, 234-241.
- LUIS M. CARRILLO-LOPEZ, IVAN A. GARCIA-GALICIA, JUAN M. TIRADO-GALLEGOS, ROGELIO SANCHEZ-VEGA, MARIANA HUERTA-JIMENEZ, MUTHUPANDIAN ASHOKKUMAR, ALMA D. ALARCON-ROJO. (2021). Recent advances in the application of ultrasound in dairy products: Effect on functional, physical, chemical, microbiological and sensory properties. *Ultrasonics Sonochemistry*, 73, 105467
- MEENU RANI, MONIKA SOOD, JULIE D BANDRAL, ANJU BHAT, ISHA GUPTA. (2020). Thermosonication technology and its application in food industry. *Int J Chem Stud*, 8, 922-928
- LINO, D.L., GUIMARÃES, J.T. RAMOS, G.L.P.A., SOBRAL, L.A.,....., SILVA, M.C., CRUZ, A.G. (2022). Positive effects of thermosonication in Jamun fruit dairy dessert processing. *Ultrasonics Sonochemistry*. 86, 106040.
- MUMTAZ, AMER & IBRAHIM, MUHAMMAD & SIDDIQUI, NOUMAN & SAFDAR, MUHAMMAD & MUNIR, MASOOMA & QAYYUM, AQSA & SHIBLI, SAHAR & IBRAHIM, MUHAMMAD. (2019). Ultrasounds: A Recent Perspective in Food Industry. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 32, 334-342

MUNIR M, NADEEM M, ALI B, SULTAN M, KANWAL R, AL-JUMAYI HA, ALGARNI EHA, ALNOFEAI MB, MAHMOUD SF. (2022). Investigating the Impact of Ultrasound, Microwave, and High-Pressure Processing of Milk on the Volatile Compounds and Sensory Properties of Cheddar Cheese. *Agriculture*, 12, 577.

SACHIN P. RAMTEKE, R. J. DESALE, D. H. KANKHARE AND Y. G. FULPAGARE. (2020). Thermosonication Technology in the Dairy Industry: A Review. *Int. J. Adv. Res. Biol. Sci*, 7, 82-89

SOLTANI FIROUZ M, 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. *Ultrason Sonochem.* 57, 73-88

ARRUDA, T. R. *et al.* 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

URANGO, A.C.M., STRIEDER, M.M., SILVA, E.K. *et al.* (2022). Impact of Thermosonication Processing on Food Quality and Safety: a Review. *Food Bioprocess Technol.*, 145, 112579.

## CAPITULO II

### TERMOSSONICAÇÃO: APLICAÇÕES EM PRODUTOS ALIMENTÍCIOS

Rafaella Silva Moura<sup>1</sup>, José Ricardo Hassel Lopes<sup>1</sup>, Adriano Gomes da Cruz<sup>1</sup>, Jonas de Toledo Guimarães<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Universidade Federal Fluminense (UFF), Departamento de Bromatologia, 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 sensorial 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 notória 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 (1). 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. MATERIAIS 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.

| <b>FONTES DE INFORMAÇÃO</b> | <b>ESTRATÉGICA DE BUSCA</b>  | <b>RESULTADOS</b> |
|-----------------------------|--|-------------------|
| <b>PUBMED</b>               | Termossonication<br>Alternative Heat Treatments  | 34                |
| <b>SCIELO</b>               | Termossonicação;<br>Tratamentos térmicos alternativos;<br>Termossonicação aplicada em produtos lácteos;<br>Termossonicação aplicada em cereais;<br>Termossonicação aplicada em carnes. | 2                 |

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), obtendo 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.** Instrumento de coleta de dados 1: Apresentação da síntese dos artigos incluídos na Revisão Integrativa: Identificação do estudo, ano e país.

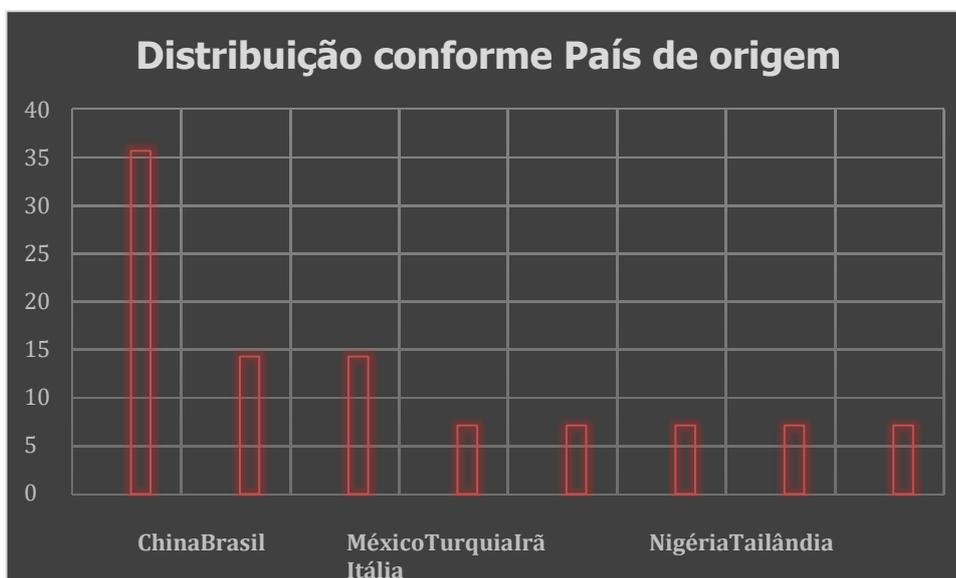
| <b>Nº</b> | <b>Identificação do Estudo</b>  | <b>Ano</b> | <b>País</b> |
|-----------|---|------------|-------------|
| 1         | Influence of thermosonication (TS) process on the quality parameters of high pressure homogenized hazelnut milk from hazelnut oil by-products   | 2019       | Turquia     |
| 2         | Effect of thermosonication process on physicochemical properties and microbial load of goat's milk  | 2019       | China       |
| 3         | Optimization of thermosonication on <i>Bacillus cereus</i> from pork: Effects on inactivation and physicochemical properties                    | 2020       | China       |
| 4         | Effect of thermosonication or microwave heating for post pasteurization on chemical, physical, and sensory characteristics of prototype sausage | 2020       | Tailândia   |
| 5         | Ultrasonic decontamination in smoked salmon experimentally contaminated with <i>Listeria monocytogenes</i> : Preliminary results                | 2020       | Itália      |

|    |  |      |         |
|----|--|------|---------|
| 6  | 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     |
| 7  | Effects of ultrasound-assisted freezing on the water migration of dough and the structural characteristics of gluten components                                  | 2020 | China   |
| 8  | Impact of high-intensity thermosonication treatment on spinach juice: Bioactive compounds, rheological, microbial, and enzymatic activities                      | 2021 | China   |
| 9  | 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 ( <i>Spondias mombin</i> 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. 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%). O gráfico 1 apresenta a distribuição dos 14 artigos selecionados conforme seus países de origem:

**Gráfico 1:** Distribuição dos artigos conforme país de origem.



**Quadro 03:** Instrumento de coleta de dados: Apresentação da síntese dos artigos incluídos na Revisão Integrativa: Identificação do objetivo, perspectivas e principais resultados.

| Identificação do Estudo   | Objetivo  | Principais Resultados   |
|---|---|---|
| Influence of thermosonication (TS) process on the quality parameters of high pressure homogenized hazelnut milk from hazelnut oil by-products | 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. |
| Effect of thermosonication process on physicochemical properties and microbial load of goat's milk  | 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.   |
| Optimization of thermosonication on <i>Bacillus cereus</i> from pork: Effects on inactivation and physicochemical properties                  | 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>  |

|   |   |   |
|---|---|---|
| <p>Effect of thermosonication or microwave heating for post pasteurization on chemical, physical, and sensory characteristics of prototype sausage</p>        | <p>Aplicar as técnicas de técnicas de termossonicação ou micro-ondas foram nas amostras de salsicha como métodos de pós-pasteurização</p>   | <p>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.</p> |
| <p>Ultrasonic decontamination in smoked salmon experimentally contaminated with <i>Listeria monocytogenes</i>: Preliminary results</p>                        | <p>Avaliar os efeitos do ultrassom (sonicação) e sua combinação com a temperatura (termossonicação) na inativação de <i>Listeria monocytogenes</i> (LM) em salmão defumado.</p>                               | <p>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.</p>   |
| <p>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</p> | <p>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.</p> | <p>A amostra contendo farinha de milho pré-gelatinizada, tratada com 30% de intensidade de ondas ultrassônicas, apresentou melhores propriedades tecnológicas, visuais e sensoriais.</p>  |
| <p>Effects of ultrasound-assisted freezing on the water migration of dough and the structural characteristics of gluten components</p>                        | <p>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</p>                      | <p>No tratamento com ultrassom houve melhora na distribuição de umidade na massa e redução dos danos à estrutura molecular da proteína causados pelo congelamento.</p>  |
| <p>Impact of high-intensity thermosonication treatment on spinach juice: Bioactive compounds, rheological,</p>  | <p>Investigar compostos bioativos, atividades antioxidantes, cor, tamanho de partícula, comportamento reológico, estabilidade da</p>  | <p>A termossonicação preservou significativamente os compostos bioativos (flavonóis totais, flavonóides totais, fenólicos totais, carotenóides, clorofila e antocianinas) no suco de</p>  |

|  |   |   |
|--|---|---|
| microbial, and enzymatic activities  | 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).                                 | 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.  |
| Thermosonicated whey protein concentrate blends on quality attributes of reduced fat Panela cheese   | 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).                                |
| Thermosonication as an alternative method for processing, extending the shelf life, and conserving the quality of pulque: A non-dairy Mexican fermented beverage | Avaliar a termossonicação como um método alternativo para a pasteurização de pulque, a fim de melhorar sua vida útil e manter seus parâmetros de qualidade.                                       | A vida útil do pulque foi estendida até 24 dias de armazenamento a 4 °C. Após esse 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. |
| Benefits of thermosonication in orange juice whey drink processing   | 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.   |
| Effect of thermosonication on quality attributes of hog plum ( <i>Spondias mombin</i> L.) juice  | 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         | 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  |

|  |  |   |
|--|--|---|
|  | s) e termossonicação (40 kHz, 400 W a 40, 50 e 60 °C cada por 5, 10, 20 e 30 min).   | 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.   |
| Effects of Microwaves, Ultrasonication, and Thermosonication on the Secondary Structure and Digestibility of Bovine Milk Protein | 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 $\alpha$ -hélices e diminuíram correspondentemente as $\beta$ -preguiadas. Além disso, a digestibilidade da Em relação às amostras não tratadas, os três tratamentos aumentaram as $\alpha$ -hélices e diminuíram correspondentemente as $\beta$ -folhas e voltas. Além disso, a digestibilidade da proteína do leite submetida a termossonicação foi correspondente a 68,76-78,81%. |
| Positive effects of thermosonication in Jamun fruit dairy dessert processing   | Avaliar os efeitos do processamento por termossonicação (90 °C, potências de ultrassom de 200, 400 e 600 W) nos parâmetros de qualidade da sobremesa láctea de frutas Jamun em comparação com o processamento de aquecimento convencional (90 °C/20 s) | 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 de antocianinas, melhor perfil de ácidos graxos e maior digestibilidade.   |

#### 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 (1,2,3). Nos vegetais e nas frutas a técnica de termossonicação se destacou por promover a inativação de microrganismos e enzimas (4,5), aumentar a biodisponibilidade de compostos bioativos (6,7) e auxiliar na remoção dos agrotóxicos (8). 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 (1,5,9). Contudo, é válido ressaltar que esta técnica também impacta na coloração (10) e na firmeza dos frutos e vegetais, sendo assim, extremamente necessária 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 (11,12). 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 (12,13), aspecto considerado positivo frente aos produtos cárneos. Contudo, estes mesmos radicais produzidos podem provocar processos oxidativos nas proteínas e nos lipídios, resultando em alterações de aroma e sabor destes produtos (8).

Nos cereais, o método de termossonicação pode ser utilizado para avaliar as

mudanças na massa, assim como promover melhorias quanto aos aspectos físico-

químicos 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 (14). Além disso, a cor e a firmeza também demonstram alterações positivas, promovendo assim produtos com qualidades sensoriais interessantes (14). 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 (15). 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 (8), diminuindo esses danos.

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 (8). Ao se aplicar a técnica da termossonicação nesses produtos há alterações positivas, a saber: melhoria do desempenho de enzimas e microrganismos; emulsificação; remoção da espuma; maior homogeneização, devido à redução do tamanho das partículas e maior uniformidade; redução da sinérese (3,16); aceleração do crescimento de probióticos (17), devido à sonoporação de baixo nível que age aumentando a permeabilidade das membranas celulares, resultando em maior transferência de substratos e remoção de subprodutos do metabolismo celular; aumento do teor de peptídeos bioativos (3,6) 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 (3,6,18). 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 (3,4,6,19).

**Esquema 1:** Aplicações da termossonicação nos alimentos.



Fonte: Autoria

## 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 termossonônica, 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 BIBLIOGRÁFICAS

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. **Ultrason Sonochem**, v.70, p. 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**, v. 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. **Ultrason Sonochem**, v.73, p. 105467.

LINO D.. *et al.* (2022). Positive effects of thermosonication in Jamun fruit dairy dessert processing. **Ultrasonics Sonochemistry**, V. 86, p. 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. **Ultrason Sonochem**, v. 57, p. 73-88.

GENARO G. AMADOR-ESPEJO. *et al.* (2021). Thermosonicated whey protein concentrate blends on quality attributes of reduced fat Panela cheese. **Ultrasonics Sonochemistry**, V.76, p. 105621.

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**, v. 393, p. 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**, v. 54.

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. **J. Food Sci. Technol**, v.57, p.993-1002.

MANZOOR M. F. *et al.* (2021). Impact of high-intensity thermosonication treatment on spinach juice: Bioactive compounds, rheological, microbial, and enzymatic activities. **Ultrason Sonochem**, v.78, p. 105740.

OLADUNJOYE A. O. *et al.* (2021). Effect of thermosonication on quality attributes of hog plum (*Spondias mombin* L.) juice. **Ultrason Sonochem**, v. 70, p. 105316.

OLIVEIRA, G. A. R. *et al.* (2022). Benefits of thermosonication in orange juice whey drink processing. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, V. 75, p. 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**, v.43.

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

RAGAB E. S. *et al.* (2019). Effect of thermosonication process on physicochemical properties and microbial load of goat's milk. **J Food Sci Technol**, v.56, p. 5309-5316.

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

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

ZHANG YU. *et al.* (2020). Effects of ultrasound-assisted freezing on the water migration of dough and the structural characteristics of gluten components. **J. Cereal Sci**; v.94, p. 102893.

## CAPÍTULO III

### **Benefits of thermosonication in dairy products: how ultrasound power affects the technological properties of “requeijão cremoso”**

Rafaella Silva Moura<sup>1</sup>, Pedro Henrique Campelo<sup>2</sup>, Jonas de Toledo Guimarães<sup>3</sup>,  
José Ricardo Hassel Lopes<sup>1</sup>, Adriano Gomes da Cruz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Federal Institute of Education, Science and Technology of Rio de Janeiro (IFRJ)

<sup>2</sup> Fluminense Federal University (UFF)

<sup>3</sup> Department of Food Technology, Federal University of Viçosa, 36570-900, Viçosa, Brazil

#### **ABSTRACT**

This study investigates the impact of ultrasound treatment on the processing of creamy cheese, focusing on various aspects such as texture, color, fatty acid composition, and volatile compounds. The experiment involved different ultrasound power levels (200 W, 400 W, and 600 W) and a control treatment. Results revealed that ultrasound treatment significantly affected several key properties of the creamy cheese. The texture of the cheese became softer with increased ultrasound power, attributed to structural changes within the protein and lipid matrix. The color of the cheese also underwent noticeable modifications, with higher ultrasonic power treatments resulting in a lighter and less saturated appearance. Moreover, the fatty acid composition of the cheese showed variations with different ultrasound powers, impacting the nutritional profile and potential health effects. Volatile compounds in the cheese were influenced by ultrasound, leading to differential aroma and flavor profiles. Overall, the study demonstrates that ultrasound treatment plays a pivotal role in the development and quality control of creamy cheese, offering opportunities for customization of various sensory attributes.

**Keywords:** Ultrasound-assisted; Processed cheese; Texture; Color; Melting properties

## 1 INTRODUCTION

Dairy products, along with their derivatives, play a fundamental role in nutrient intake as they are rich in proteins, minerals, and vitamins [1]. Among dairy derivatives, creamy cheese stands out due to its economic accessibility and convenience, which has resulted in a steady increase in consumption since the 1990s.

Processed cheeses or cheese spreads are products made from a mixture of one or more cheeses (aged or fresh), along with fat, water, and melting salts, followed by the application of heat and agitation. The application of heat and agitation aims to promote melting and achieve a homogeneous and stable emulsion. Creamy cheese falls under this classification, being the most popular among the processed cheese class sold in Brazil [2].

The production process of creamy cheese involves cheese melting, which is essential for its manufacturing. Melting often occurs in two stages: the first at 70°C for 5 minutes and the second at 87°C for 3 minutes. These high temperatures can lead to the loss of nutritional properties, including a reduction in bioactive compounds. Therefore, the search for alternative processing methods that minimize these losses and improve the sensory characteristics of the product is on the rise [3–5].

An innovative approach to preserving the nutritional quality of dairy products while enhancing their sensory characteristics is thermosonication. Thermosonication is a method of ultrasonic technology that combines moderate heat with low-frequency ultrasound treatment, around 20 kHz. Low-power thermosonication is used in the food industry to evaluate physicochemical properties, such as food composition and structure. High-power thermosonication, on the other hand, has been applied in broader aspects, including crystallization, emulsification, drying, freezing, enzyme inactivation, and other processes [6]. This technique has demonstrated efficacy in the inactivation of unwanted enzymes and microorganisms [7], reducing the size of casein micelles [8] and increasing the bioavailability of bioactive compounds [9].

In dairy products, the sonication process has already shown promising results and improvements in process and technological characteristics, such as raw milk [10,11], cheeses [12,13] and dairy beverages [14,15].

In this context, a promising perspective emerges: the creation of creamy cheese subjected to the thermosonication process. This advancement would not only meet consumer expectations but also result in a product that maintains its nutritional

quality,

preserving the intrinsic benefits of dairy products while enhancing sensory characteristics. This approach may pave the way for innovations in the dairy industry, addressing the demands for healthier and more flavorful foods.

## 2 MATERIALS AND METHODS

### 2.1 PRODUCTION OF REQUEIJÃO CREMOSO

For the preparation of the hot acid coagulation mass, 2 liters of pasteurized milk were heated to 80°C. After heating, 0.4% of 85% lactic acid was added to the milk, and it was stirred until the milk precipitated, releasing whey. After the whey removal process, the resulting mass was washed three times to increase the pH of the mass. Immediately after mass formation, it was weighed, and the other ingredients were added as per Table 1. Subsequently, four samples were separated into 250 mL beakers. For CONV, the fusion process was carried out using a heating plate with agitation at 80°C for 1 minute. Simultaneously, thermosonication was performed for treatments TS200, TS400, and TS600 using a heating plate at 80°C and an ultrasonic probe device (QR750, Ultronique Disruptor/Sonicator, São Paulo, Brazil) with a 13 mm probe operating at 20 kHz at different nominal powers of 200, 400, and 600 W, respectively. All samples were packed in polypropylene plastic containers and stored at 0 - 5°C until the analyses were conducted.

**Table 1** – Traditional “requeijão cremoso” cheese formulation

| Ingredients  | Content (%) | Mass (g) |
|--------------|-------------|----------|
| Fresh mass   | 45          | 393      |
| Cream        | 41          | 358      |
| NaCl         | 0,4         | 3,5      |
| Casting Salt | 1           | 817,3    |
| Water        | 12,6        | 110      |

|       |     |        |
|-------|-----|--------|
| Total | 100 | 1678,3 |
|-------|-----|--------|

The acoustic power (AP), acoustic intensity (IA), power density (PD), specific energy (SE), and energy density (ED) were calculated according to Equations 1 - 5. [16].

$$AP(W) = mC_p \left( \frac{dT}{dt} \right) \quad \text{Eq. 1}$$

$$AI \left( \frac{W}{cm^2} \right) = \frac{4 * AP}{\pi D^2} \quad \text{Eq. 2}$$

$$PD \left( \frac{W}{mL} \right) = \frac{AP}{V} \quad \text{Eq. 3}$$

$$SE \left( \frac{J}{g} \right) = \frac{AP * t}{m} \quad \text{Eq. 4}$$

$$ED \left( \frac{J}{cm^3} \right) = \frac{UP * t}{V} \quad \text{Eq. 5}$$

Where  $C_p$  is the specific heat capacity ( $J \cdot g^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$ ) measured at constant pressure;  $m$  is the sample mass (g),  $dT/dt$  is the heating rate with respect to process time ( $^\circ C \cdot s^{-1}$ );  $D$  is the probe diameter (cm);  $V$  is the sample volume (mL or  $cm^3$ ),  $t$  is the processing time (s). The specific heat capacity ( $C_p$ ) was determined using the value of  $2.1 J \cdot g^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$ , which is the heat capacity of fresh processed cheese [17].

According to the calculations, the ultrasonic parameters for treatments TS200, TS400, and TS600 applied to the cheese samples were as follows:

- Acoustic power: 5.60, 14.82, and 15.57 W
- Acoustic intensity: 12.06, 31.89, and 35.67  $W \cdot cm^{-2}$
- Power density: 0.028, 0.074, and 0.083  $W \cdot cm^{-3}$
- Specific energy: 3.36, 8.89, and 9.94  $J \cdot g^{-1}$
- Energy density: 0.12, 0.24, and 0.36  $kJ \cdot cm^{-3}$ , respectively.

## 2.2 *GROOS COMPOSITION*

The physical and chemical analyses were conducted on the third day of refrigerated storage and included pH measurement, centesimal composition (moisture, proteins, lipids, fat in the dry extract, and defatted dry extract). All analyses were carried out following official methodology. [18].

## 2.3 *“REQUEIJÃO CREMOSO” FLOW*

For the meltability test, the method described by Olson and Price [19] was realized. Samples of  $5.00\text{g} \pm 0.20\text{g}$  of creamy cheese (CONV, TS200, TS400, and TS600) were placed directly inside the melting tube. After weighing the samples in their respective tubes, they were placed horizontally on an aluminum support and subjected to an oven at  $110^{\circ}\text{C}$ . After 8 minutes, the support was removed from the oven and tilted at a  $45^{\circ}$  angle to stop the cheese flow. The distance from the reference line to the edge of the melted sample was marked. The support was then returned to the horizontal position and left in the oven for an additional 2 minutes, reaching a total time of 10 minutes, and the distance traveled by the cheese in the tube was marked again. This distance, measured in millimeters, over the course of 10 minutes is referred to as the "cheese flow" and is used as a measure of meltability.

## 2.4 *CONFOCAL LASER SCANNING MICROSCOPY*

The samples were stained with Nile Red (NR, Sigma, Brazil,  $200\text{ mg mL}^{-1}$ , 15 min, room temperature) and analyzed using an epifluorescence microscope (Leica DMI 6000B, Wetzlar, Germany) with an HCX PLFLUO TAR  $100\times 1.30$  objective. A drop of the sample was placed on a slide and covered with coverslip. The samples were excited using a Leica EL6000 short-arc mercury lamp, a Leica I3 fluorescence filter cube (with an excitation filter BP 450–490 nm, a 510 nm dichroic mirror), and a suppression filter LP 515 nm [20]. Image analysis software was used to estimate the diameter of Nile Red-stained lipid droplets (LDs) from images ( $n = 300$  LDs per sample) [21].

## 2.5 COLOR

Color measurements were performed in triplicate for each of the four cheese treatments at  $5 \pm 2^\circ\text{C}$  on the first day of storage using a portable colorimeter (CR-410, Minolta Sensing Konica, Inc., Tokyo, Japan). The  $L^*$ ,  $a^*$ , and  $b^*$  coordinates were obtained according to the CIE scale, where  $L^*$  determines the lightness,  $a^*$  the variation from green (-) to red (+), and  $b^*$  from blue (-) to yellow (+), using illuminant D65 and a  $10^\circ$  observer. The parameters of hue angle (h), chroma ( $C^*$ ), and whiteness index (WI) were also evaluated.

## 2.6 TEXTURE PROFILE ANALYSIS

Texture profile analysis (TPA) of the cheeses was conducted after the first day of refrigerated storage. The evaluation was performed using a texture analyzer, specifically the TA.XT EXPRESS (Stable Micro Systems). The evaluated parameters included hardness, adhesiveness, gumminess, and cohesiveness. During the tests, the samples were compressed by a 25 mm diameter cylinder (SMS P/36R) to a compression distance of 35% of the product height, at a test speed of 5 mm/s, using a 10 kg load cell for 2 penetration cycles and 6 repetitions. The tests and data collection were carried out using the Exponent Lite Express software (Stable Micro System). The evaluated parameters were calculated from the obtained force vs. time curve [22].

## 2.7 RHEOLOGY

The rheological measurements were carried out using steady-state flow and dynamic oscillatory flow tests in a rotational-type rheometer Paar Physica MCR 300 (Anton Paar GmbH, Graz, Austria), with cone-plate geometry (4 cm,  $2^\circ$ ), 1 mm of gap and Physica TEK 150P temperature control system. Samples were placed in the dish and allowed to stand at  $10 \pm 0.1^\circ\text{C}$  for 10 min for recovery of the structure.

### 2.7.1 FLOW CURVES

To obtain the flow curves, shear rates were determined, with increasing (0 to 100 s<sup>-1</sup>) and decreasing (100 to 0 s<sup>-1</sup>) shear rates. Data of the second curve were fitted to the power law model (Equation 6) using nonlinear regression analysis at STATISTICA 5.0 software (StatSoft, Tulsa, OK, EUA):

$$\sigma = K\dot{\gamma}^n \quad \text{Eq. 6}$$

Where  $\sigma$  is the shear stress (Pa),  $K$  is the consistency index (Pa.s<sup>n</sup>),  $\dot{\gamma}$  is the shear rate (s<sup>-1</sup>), and  $n$  is the flow behavior index (dimensionless).

### 2.7.2 OSCILLATORY TESTS

To determine the linear viscoelastic portion, a strain amplitude sweep test (0.01–10%) was previously performed at a fixed frequency of 1 Hz (data not shown). The dynamic oscillatory assays were carried out within the linear viscoelasticity domain by performing frequency sweeps in the range of 0.1 to 100 Hz at a constant strain amplitude of 1%. The parameters  $G'$  (elastic modulus) and  $G''$  (viscous modulus) were measured, and the loss tangent was determined according to Equation 7:

$$\tan \delta = \frac{G''}{G'} \quad \text{Eq. 7}$$

The elastic ( $G'$ ) and viscous ( $G''$ ) moduli were also used to calculate the complex modulus ( $G^*$ ) in accordance with Equation 8:

$$G^* = \sqrt{G'^2 + G''^2} \quad \text{Eq. 8}$$

The critical gel model (Equation 9) was used to evaluate the changes in the viscoelastic properties of the samples as a function of frequency (Winter & Chambon, 1986; Gabriele et al., 2001). Data were adjusted by nonlinear regression analysis using STATISTICA 5.0 software (StatSoft, Tulsa, OK, EUA).

$$G^* = A_F \omega^z \quad \text{Eq. 9}$$

Where  $A_F$  (Pa.s<sup>1/z</sup>) represents the gel strength,  $\omega$  is the frequency in Hz, and  $z$  (dimensionless) corresponds to the interaction factor, which is defined as the number of structural units interacting with each other in a three-dimensional network.

## 2.8 FATTY ACID PROFILE

The fatty acid profile was determined using gas chromatography (Agilent Technologies® 5975C) following the procedure described by Silva et al. [3]. The gas flow rates were 30 mL/min for the auxiliary gas (N<sub>2</sub>), 1.4 mL/min for the carrier gas (H<sub>2</sub>), and 300 mL/min for synthetic flame air. The split ratio was 1/80. The injector and detector temperatures were maintained at 235 °C. The column temperature was initially set to 65 °C for 4 minutes and then increased at a rate of 16 °C/min to 185 °C. It was held at 185 °C for 12 minutes and then increased at a rate of 20 °C/min to 235 °C, where it was held for 14 minutes. A 2 µL injection volume was used, and the peak areas were determined using the Star software (Varian). Fatty acid identification was based on the retention time comparison with standard methyl esters containing linoleic acid geometric isomers c9t11 and t10c12 (189-19 and O-5626, Sigma, USA) and equivalent chain length values (ECL) [23].

## 2.9 STATISTICAL ANALYSIS

All products processing was performed in triplicate, being all analyses were carried out also in triplicate. Analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test was used for data treatment for all instrumental parameters. The software XLSTAT version 2015 (Addinsoft, Paris, France) and STATISTICA 5.0 (StatSoft, Tulsa, OK, EUA) were used considering 5% of significance ( $p < 0.05$ ).

### 3 RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1 GROSS COMPOSITION

**Table 2** displays the results of the chemical composition of creamy cheeses treated with thermosonication at different power levels. In general, all the analyzed parameters did not show significant differences ( $p>0.05$ ). Only the "melting" parameter exhibited differences among the treatments ( $p<0.05$ ). The lower ultrasound power levels (TS200 and TS400) presented lower melting values, significantly differing from the control treatment. This indicates that ultrasound treatment increases the flowability of creamy cheese, making it more fluid. One possible explanation is that ultrasound may have altered the milk caseins [8], breaking down particles and reducing their size, thereby promoting the flow and melting of the cheese. In studies on the production of Oaxaca cheese using milk treated with ultrasound [24] it was observed that increasing the ultrasound treatment time did not have an impact on the melting time compared to the control treatment.

**Table 2** – Gross composition and melting of requeijão cremoso processed cheese.

| PARAMETERS       | CONV                     | TS200                    | TS400                    | TS600                    |
|------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Moisture content | 64.5 <sup>a</sup> ± 1.14 | 64.1 <sup>a</sup> ± 1.16 | 64.2 <sup>a</sup> ± 1.12 | 64.2 <sup>a</sup> ± 1.32 |
| Dry Matter       | 35.5 <sup>a</sup> ± 1.22 | 35.8 <sup>a</sup> ± 1.17 | 35.7 <sup>a</sup> ± 1.88 | 35.7 <sup>a</sup> ± 1.45 |
| Protein          | 15.7 <sup>a</sup> ± 1.32 | 15.8 <sup>a</sup> ± 1.54 | 15.8 <sup>a</sup> ± 1.45 | 15.4 <sup>a</sup> ± 1.11 |
| Fat              | 19.9 <sup>a</sup> ± 1.11 | 19.8 <sup>a</sup> ± 1.02 | 19.8 <sup>a</sup> ± 0.34 | 19.7 <sup>a</sup> ± 1.22 |
| Fat/Dry Matter   | 56.3 <sup>a</sup> ± 1.84 | 55.5 <sup>a</sup> ± 1.74 | 55.6 <sup>a</sup> ± 1.14 | 55.3 <sup>a</sup> ± 1.64 |
| Melting          | 10.1 <sup>a</sup> ± 1.04 | 4.8 <sup>c</sup> ± 1.02  | 4.9 <sup>c</sup> ± 0.54  | 7.1 <sup>b</sup> ± 1.09  |

Values are expressed ± standard deviation. Analysis performed in triplicate. Moisture content, Dry Matter, Protein, Fat and Fat/Dry matter are expressed in g/100g. Melting are expressed in cm. <sup>a,b,c</sup> Different letters at the same line indicate statistical difference according to the Tukey test ( $p<0.05$ ). RC, TS200, TS400, TS600= traditional fusion, 90 °C/5 min, Thermosonication at 90 °C/200 W, 90 °C/400 W and 90 °C/600 W, respectively.

#### 3.2 CONFOCAL LASER SCANNING MICROSCOPY

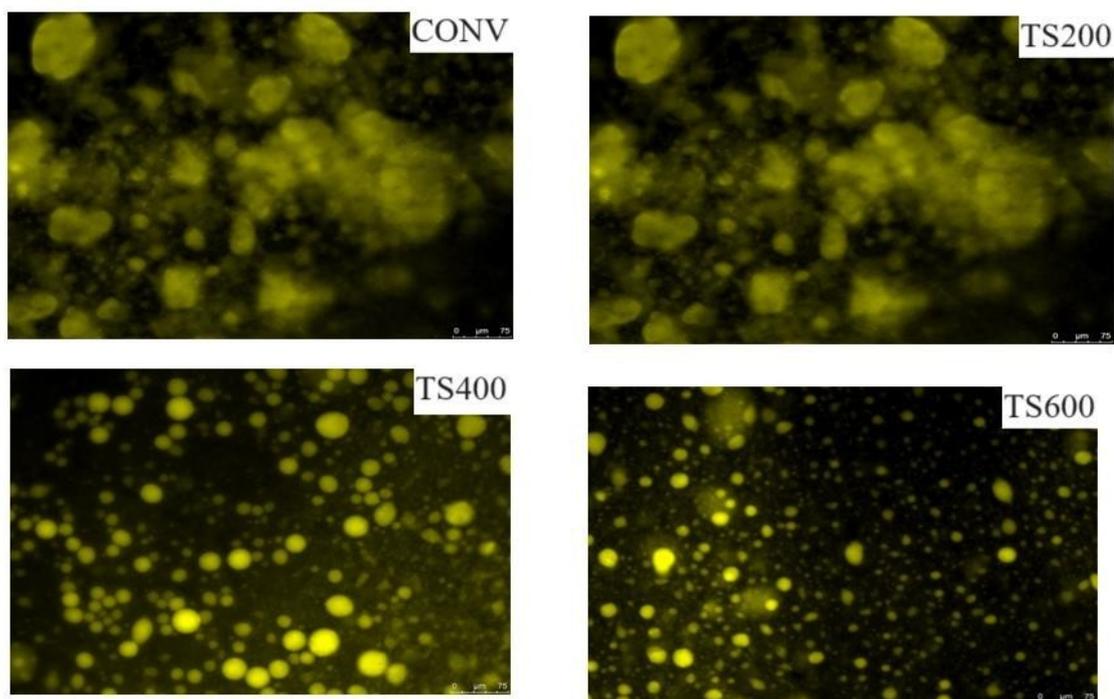
Confocal laser scanning microscopy images of the ultrasound-treated cheese samples are presented in **Figure 1**. It can be observed that increasing the ultrasound power generated smaller droplets. **Figure 2** shows the relationship between the area

of droplets observed in the microscopic image and the ultrasound power applied to the creamy cheese. The reduction in the size of fat and protein particles in creamy cheese under ultrasound action can be explained by the following mechanisms: (i) acoustic cavitation, (ii) emulsification, and (iii) mechanical shear.

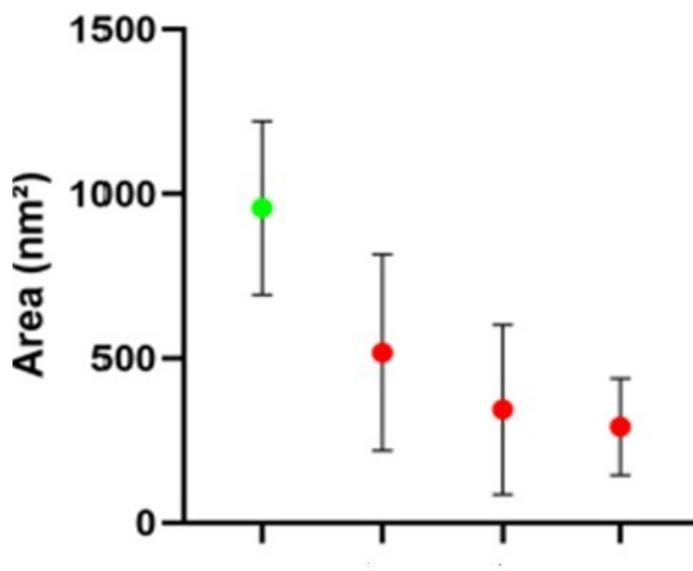
The phenomenon of acoustic cavitation is one of the primary mechanisms that occur when high-frequency sound waves are applied to a liquid. Cavitation involves the formation and implosion of small gas bubbles in the liquid [8,25]. During the cavitation process, gas bubbles can violently collapse, creating microjets and areas of high pressure [8,25]. This can lead to the fragmentation of larger particles into smaller ones, including fat and protein particles in creamy cheese.

Ultrasound can promote more effective emulsification of liquid components such as fat and protein. This occurs because the energy of the sound waves breaks down fat particles into smaller droplets and more evenly disperses proteins in the liquid matrix of the cheese. As a result, fat and protein particles are distributed more uniformly, which can contribute to a smoother texture and better emulsion stability [26– 28].

Ultrasound also has a direct mechanical effect on fat and protein particles. The energy of the sound waves causes vibration and agitation in the particles, which can result in the breakdown of larger aggregates into smaller particles. Furthermore, the motion of the particles induced by ultrasound can help disperse the particles more effectively in the liquid, contributing to particle size reduction [27].



**Figure 1.** Confocal laser scanning microscopy of requeijão cremoso processed cheese samples. CONV (tradicional fusão, 80 °C/5 min); TS200, TS400, TS600 (Thermosonication at 80 °C/200 W, 80 °C/400 W and 80 °C/600 W, respectively).



**Figure 2.** Area of milk fat globule of requeijão cremoso processed cheese samples. CONV (tradicional fusão, 80 °C/5 min); TS200, TS400, TS600 (Thermosonication at 80 °C/200 W, 80 °C/400 W and 80 °C/600 W, respectively).

### 3.3 COLOR

Table 3 provides the color results for the cheeses subjected to different treatments, including the control treatment (CONV) and the ultrasound treatments at three power levels: TS200, TS400, and TS600. The color results are expressed in terms of the parameters  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C$ ,  $h$ , and  $WI$ , which are measurements to characterize the product's color. The cheeses treated with ultrasound (TS200, TS400, and TS600) have higher  $L^*$  values than the control (CONV), indicating that they are lighter in terms of color. Cheeses treated with ultrasound have higher  $WI$  values, suggesting that they are perceived as whiter compared to the control. The color results indicate that the cheeses treated with ultrasound show significant differences in color compared to the control. They tend to be lighter, with a closer green-blue hue and lower color saturation. The ultrasound power also appears to influence these color changes, with the 600 W treatment (TS600) showing the most significant alterations compared to the control (CONV). These color changes may have implications for consumer perception and acceptance of the product, depending on color preferences. For Mexican Panela Cheese [29], the authors observed that an increase in ultrasound processing time caused changes in color, making the cheeses appear more yellow.

**Table 3.** Optical parameters of requeijão cremoso samples

| Assay | $L^*$        | $a^*$              | $b^*$            | $C$              | $h$               | $WI$             |
|-------|--------------|--------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|
| CONV  | $88 \pm 1^b$ | $-9.3 \pm 0.1^b$   | $28.1 \pm 0.3^a$ | $29.6 \pm 0.2^a$ | $108.4 \pm 0.1^d$ | $68.1 \pm 0.2^d$ |
| TS200 | $94 \pm 1^a$ | $-8.42 \pm 0.02^a$ | $21.9 \pm 0.2^b$ | $23.5 \pm 0.2^b$ | $110.9 \pm 0.1^c$ | $75.7 \pm 0.1^c$ |
| TS400 | $93 \pm 1^a$ | $-8.40 \pm 0.03^a$ | $21.2 \pm 0.2^c$ | $22.8 \pm 0.2^c$ | $111.6 \pm 0.1^b$ | $76.3 \pm 0.2^b$ |
| TS600 | $94 \pm 1^a$ | $-8.3 \pm 0.2^a$   | $20.3 \pm 0.2^d$ | $21.8 \pm 0.3^d$ | $112.1 \pm 0.2^a$ | $77.3 \pm 0.2^a$ |

Values are expressed  $\pm$  standard deviation. Analysis performed in triplicate.  $L^*$ ,  $a^*$ , and  $b^*$  correspond to luminosity, yellow intensity, and red intensity, respectively.  $h^*$  = hue angle,  $\arctan(b^*/a^*)$ ;  $C^*$  = Chroma,  $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ ;  $WI$  = whiteness index. <sup>a,b,c,d</sup> Different letters at the same line indicate statistical difference according to the Tukey test ( $p < 0.05$ ). CONV, TS200, TS400, TS600 = traditional fusion, 90 °C/5 min, Thermosonication at 90 °C/200 W, 400 W, 600 W, respectively.

### 3.4 TEXTURE PROFILE ANALYSIS

The texture profile results for creamy cheeses are presented in Table 4. It is observed that the increase in ultrasound power caused a significant reduction ( $p < 0.05$ ) in the hardness of the creamy cheese. The hardness of a food is related to its structure and physical texture. In the case of creamy cheeses, hardness is influenced by the protein and lipid matrix structure, as well as water retention [2]. Ultrasound treatment can cause physical effects, such as the breaking of non-covalent bonds in the cheese matrix, resulting in the separation of protein and fat molecules. This can lead to a softer texture, which is reflected in the reduced measured hardness. Ultrasound can also affect the chemical properties of cheese components. For instance, it can accelerate chemical reactions, such as protein or lipid hydrolysis [30–32], which can alter the cheese matrix structure. When input energy increases, the fat globule membranes are severely damaged, and the protein structure undergoes considerable change [33]. Ultrasound treatment can trigger chemical modifications resulting in the breaking of chemical bonds, such as disulfide bonds in proteins [30,34], which can contribute to a softer texture. Carrillo-López et al. [24] observed that ultrasound affected the hardness of Oaxaca cheeses, with ultrasound frequency being the most significant parameter.

The adhesiveness of a food is related to its texture, specifically to the ability of food particles to adhere to each other. In the case of creamy cheeses, adhesiveness may be associated with the ability of the protein and lipid matrix to stick together without separating easily. The increase in ultrasound power caused a significant reduction (in modulus) compared to the control treatment, with lower adhesiveness for the cheese treated with 600 W (TS600). Similar to hardness, ultrasound can affect the chemical properties of cheese components. It can accelerate chemical reactions that break chemical bonds, which can reduce adhesiveness. Ultrasound treatment can contribute to the breaking of chemical bonds that keep the cheese particles adherent, resulting in less interaction between the particles [34].

The results indicate that, based on cohesiveness, the ultrasound treatments (TS200, TS400, and TS600) did not have a significant impact on the ability of cheese particles to stay together compared to the control treatment (CONV). All treatments exhibit similar cohesiveness values, suggesting that the cohesiveness of the creamy cheese was not significantly affected by ultrasound under the tested conditions. No significant difference was observed for cohesiveness in Oaxaca cheeses treated with ultrasound either [24]. The authors themselves reported that cohesiveness is related to the fat content. As in our work, the fat content did not vary with increasing ultrasound

power (**Table 2**), this may be related to the results observed for cohesiveness.

Gumminess is related to the texture and the resistance of food to chewing [24]. Higher gumminess values indicate that the food is more resistant to chewing, while lower values indicate that the food is softer. The results show that gumminess decreases as ultrasound power increases. Ultrasound treatment at 200 W (TS200) results in lower gumminess compared to the control (CONV), and treatments at 400 W (TS400) and 600 W (TS600) exhibit even lower gumminess. This suggests that ultrasound affects the texture of the cheese, making it softer and less resistant to chewing. The reduction in gumminess observed in cheeses treated with ultrasound can be explained by changes in the chemical properties of cheese components. Ultrasound can cause the breakage of chemical bonds in proteins and lipids [24], resulting in a looser internal structure and, therefore, reduced gumminess.

**Table 4** – Texture profile analysis of requeijão cremoso treated by thermosonication.

| ASSAYS | HARDNESS             | ADHESIVNESS           | COHESIVNESS              | GUMMINESS            |
|--------|----------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------|
| CONV   | 127 ± 7 <sup>a</sup> | 652 ± 33 <sup>c</sup> | 0.88 ± 0.1 <sup>a</sup>  | 112 ± 6 <sup>a</sup> |
| TS200  | 91 ± 5 <sup>b</sup>  | 449 ± 23 <sup>b</sup> | 0.91 ± 0.01 <sup>a</sup> | 82 ± 4 <sup>b</sup>  |
| TS400  | 79 ± 7 <sup>bc</sup> | 361 ± 49 <sup>a</sup> | 0.91 ± 0.04 <sup>a</sup> | 72 ± 4 <sup>c</sup>  |
| TS600  | 72 ± 6 <sup>c</sup>  | 327 ± 33 <sup>a</sup> | 0.90 ± 0.02 <sup>a</sup> | 65 ± 4 <sup>c</sup>  |

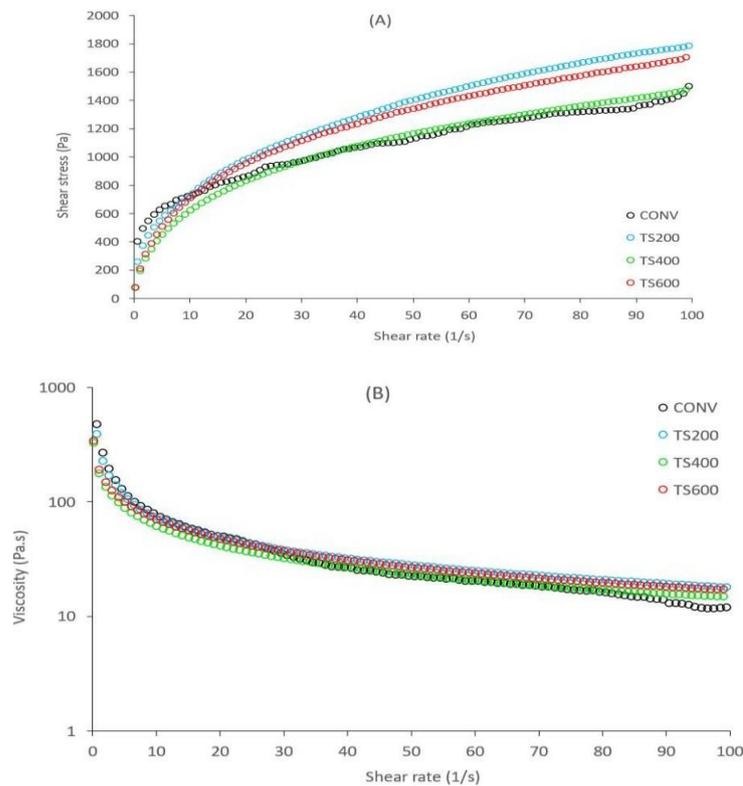
Values are expressed ± standard deviation. Analysis performed in triplicate. <sup>a,b,c</sup>Different letters at the same line indicate statistical difference according to the Tukey test ( $p < 0.05$ ). CONV, TS200, TS400, TS600 = traditional fusion, 90 °C/5 min, Thermosonication at 90 °C/200 W, 400 W, 600 W, respectively.

### 3.5 RHEOLOGY

#### 3.5.1 Flow curves

The examination of shear stress versus shear rate (**Figure 3A**) and apparent viscosity versus shear rate (**Figure 3B**) plots provides compelling evidence of the shear-thinning nature in requeijão cremoso previously reported in literature [35,36]. **Figure 3A** illustrates the gradual escalation of shear stress as shear rate increases,

yet this incremental trend diminishes as shear rate further rises. Meanwhile, **Figure 3B** demonstrates a decline in viscosity with an increasing shear rate, coupled with a moderating decrement rate at higher shear rates. Both profiles are in seamless alignment with the anticipated shear-thinning flow behavior. This behavior is attributed to the molecular realignment and disruption of internal structures within the cheese matrix as shear forces intensify, resulting in enhanced flowability [37].



**Figure 3.** Flow curves (A) and apparent viscosity (B) of the requeijão cremoso processed cheese: CONV (tradicional fusion, 80 °C/5 min); TS200, TS400, TS600 (Thermosonication at 80 °C/200 W, 80 °C/400 W and 80 °C/600 W, respectively)

**Table 5** presents the model parameters obtained using nonlinear regression to fit the flow curve data to the power-law model. It is noteworthy that the flow behavior index consistently measures below 1, confirming the shear-thinning behavior previously discussed across all samples of requeijão cremoso processed cheese. Also, the flow behavior index values across the samples exhibit minimal variation, highlighting the material's consistent shear-thinning nature despite different treatments. The consistency index unveiled a noteworthy trend that sheds light on the

material's cohesion and flow characteristics under different process conditions. Notably, the conventionally treated sample demonstrated the highest consistency index, indicating a greater degree of internal cohesion and resistance to flow. In contrast, the ultrasonicated samples demonstrated comparatively lower consistency index values, revealing a decreasing trend as ultrasound power increased. This trend is highly indicative of the correlation between consistency index and the material's viscoelastic behavior. Higher consistency index values correspond to elevated internal cohesion, resulting in stronger resistance to flow and more solid-like behavior. Conversely, lower consistency index values signify reduced cohesion, leading to a more fluid-like and easier-to-flow material [35,36]. The observed decrease in consistency with increasing ultrasound power further corroborates this relationship, revealing the effectiveness of ultrasonication in disrupting internal structures and subsequently reducing the material's resistance to flow. This nuanced understanding of consistency index values offers valuable insights into the impact of ultrasound processing methods on requeijão cremoso's rheological attributes, guiding the optimization of its texture and flow properties for various applications.

**Table 5.** Power-law model and critical-gel model parameters of the rheological data from the requeijão cremoso samples

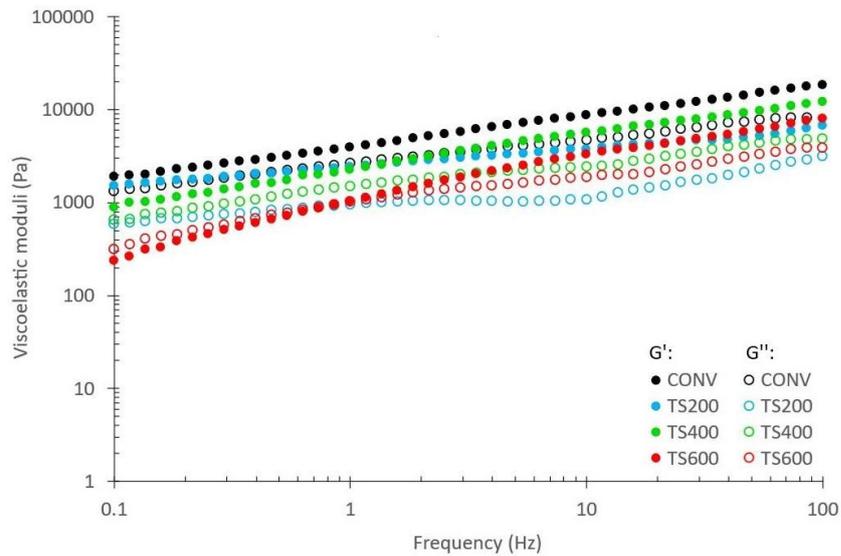
| Assay | $K$ (Pa.s <sup>n</sup> ) | $n$ (-)                   | $R^2$ | $A_F$ (Pa.s <sup>1/z</sup> ) | $Z$                     | $R^2$ |
|-------|--------------------------|---------------------------|-------|------------------------------|-------------------------|-------|
| CONV  | 427 ± 53.88 <sup>a</sup> | 0.343±0.030 <sup>a</sup>  | 0.974 | 4762±264.1 <sup>a</sup>      | 3.17±0.314 <sup>a</sup> | 0.999 |
| TS200 | 312±1.45 <sup>b</sup>    | 0.382±0.010 <sup>b</sup>  | 0.996 | 2524±72.19 <sup>b</sup>      | 4.76±0.219 <sup>b</sup> | 0.984 |
| TS400 | 267±83.8 <sup>b</sup>    | 0.369±0.024 <sup>ab</sup> | 0.994 | 2761±139.6 <sup>b</sup>      | 2.96±0.342 <sup>a</sup> | 0.999 |
| TS600 | 299±11.1 <sup>b</sup>    | 0.380±0.007 <sup>ab</sup> | 0.995 | 1480±73.30 <sup>c</sup>      | 2.56±0.398 <sup>a</sup> | 0.998 |

Values are expressed ± standard deviation. <sup>a,b,c</sup>Different letters at the same line indicate statistical difference according to the Tukey test ( $p < 0.05$ ). RC, TS200, TS400, TS600= traditional fusion, 90 °C/5 min, Thermosonication at 90 °C/200 W, 90 °C/400 W and 90 °C/600 W, respectively

### 3.5.2 oscillatory tests

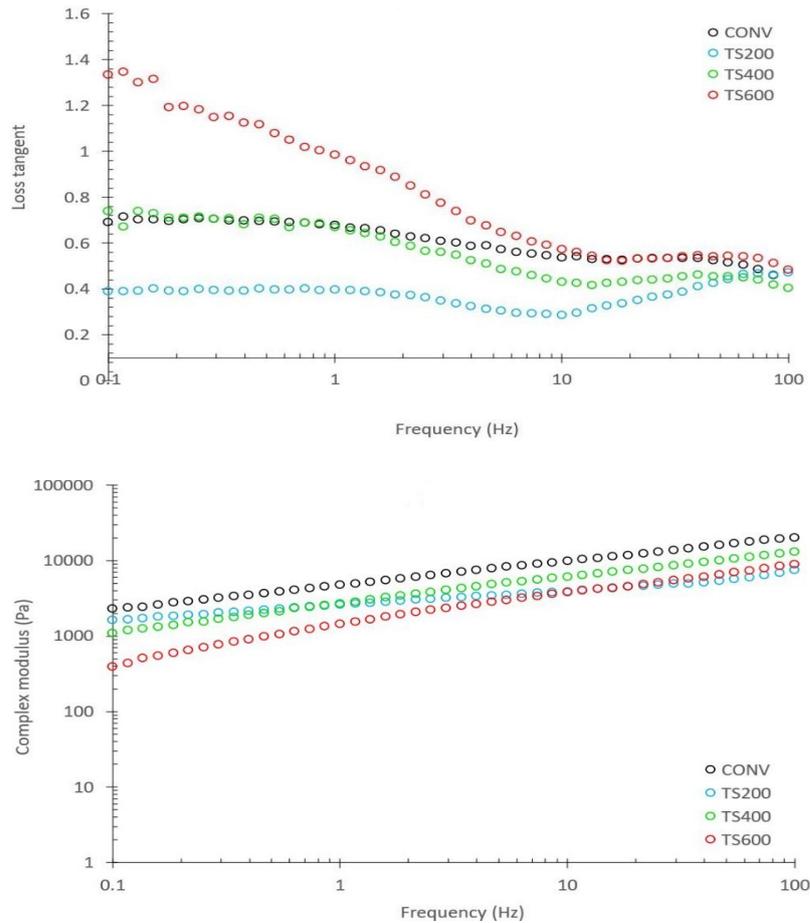
The storage modulus ( $G'$ ) and loss modulus ( $G''$ ) reflect the relative elastic and viscous tendencies of viscoelastic materials. When  $G'$  surpasses  $G''$ , processed cheese displays more gel-like properties, while  $G'$  being less than  $G''$  indicates more

viscous-like characteristics [38].



**Figure 4A.** Viscoelastic moduli,  $G'$  and  $G''$  (A) of requeijão cremoso processed cheese: CONV (tradicional fusion, 80 °C/5 min); TS200, TS400, TS600 (Thermosonication at 80 °C/200 W, 80 °C/400 W and 80 °C/600 W, respectively).

As shown in **Figure 4A**, requeijão cremoso processed cheese demonstrates native viscoelastic behavior with  $G'$  exceeding  $G''$ , suggesting the presence of solid-type structures. Moreover, as frequency increases, both  $G'$  and  $G''$  values also rise demonstrating their susceptibility to frequency variation. The CONV sample's notably higher  $G'$  and  $G''$  values indicate its superior viscoelasticity and potential for enhanced texture attributes. This implies effective energy storage ( $G'$ ) and dissipation ( $G''$ ), likely resulting in a firmer, more solid-like texture with improved elasticity and smoothness in mouthfeel [39]. On the contrary, the ultrasonicated samples (US) displayed slightly diminished  $G'$  and  $G''$  values. In the context of rheological characteristics compared to the CONV sample, this indicates that the ultrasonicated samples might possess a relatively attenuated capacity for energy storage and dissipation. From a textural perspective, this discrepancy suggests that the ultrasonicated samples could potentially manifest a slightly less firm and more fluid-like texture when juxtaposed with the CONV sample.



**Figure 4:** Loss tangent,  $\tan\delta$  (B) and complex modulus,  $G^*$  (C) of requeijão cremoso processed cheese: CONV (traditional fusion, 80 °C/5 min); TS200, TS400, TS600 (Thermosonication at 80 °C/200 W, 80 °C/400 W and 80 °C/600 W, respectively).

The loss tangent ( $G''/G'$ ) consistently remained below 1 for all samples, reaffirming the primarily elastic behavior, and a propensity for firmer textures (**Figure 4B**). However, the US600 sample has shown a unique behavior where loss tangent initially exceeded 1 and then dropped below it after 1 Hz. This behavior indicates that the ultrasound interfered in the formation of the protein network by decreasing the gel strength, making the product more viscous. This observation can be corroborated by the analysis of the complex modulus ( $G^*$ ) (**Figure 4C**), and the critical-gel model parameters (Table 1). The higher the gel strength ( $A_F$ ) and the interaction factor ( $z$ ), the firmer the samples [40]. In this perspective, CONV was the firmest sample of all followed by US200, US400, and US600. These findings demonstrated that ultrasound treatment not only had the ability to decrease gel strength by weakening the intermolecular forces in the protein network, but this was also intensified by increasing

the applied power.

### 3.6 FATTY ACIDS PROFILE

**Table 6** presents the fatty acid profile of processed creamy cheese, detailing the results for various treatments, including the control treatment (CONV) and ultrasound treatments at three different power levels: TS200, TS400, and TS600. This fatty acid profile provides insights into the nutritional and flavor characteristics of the cheese. Monteiro et al. [41] discuss the fatty acid composition of milk, where whole milk typically consists of 70% saturated fatty acids and 30% unsaturated fatty acids. The levels of these fatty acids vary based on factors such as the season and the animal's diet. Long-chain fatty acids like palmitic (C16:0), myristic (C14:0), stearic (C18:0), oleic, and linoleic acids are common components of milk fat. Fatty acids such as pentadecanoic (C15:0) and heptadecanoic (C17:0) are synthesized by the bacterial flora in the rumen. Palmitic acid (C16:0) and long-chain fatty acids can originate from dietary lipids and the hydrolysis of adipose tissue triacylglycerols. Medium and long-chain fatty acids, including stearic acid (C18:0), may exist in the mammary gland in unsaturated forms, leading to the production of corresponding monounsaturated acids. From a quantitative perspective, palmitic acid (16:0) is the most significant fatty acid, constituting approximately 30% by weight of the total fatty acids.

Concerning saturated fatty acids, the power of ultrasound has an impact on the quantity of saturated fatty acids in the cheese. Ultrasound treatment at 400 W (TS400) results in a higher concentration of saturated fatty acids (HSFA) compared to the other treatments. The control (CONV) also contains a notable amount of saturated fatty acids. In contrast, ultrasound treatments at 200 W (TS200) and 600 W (TS600) exhibit lower levels of saturated fatty acids when compared to the control and TS400. The disruption of fat globules leads to reduced globule size, which, in turn, releases more free fatty acids and triglycerides into the surrounding aqueous phase. These compounds are the primary targets of lipase and esterase enzymes, initiating lipid oxidation chain reactions [42,43].

In terms of monounsaturated fatty acids (MUFA), the control (CONV) contains the highest concentration of MUFA compared to the ultrasound-treated samples. TS400 ranks second in terms of MUFA content, followed by TS200. Ultrasound treatment at 600 W (TS600) yields the lowest amount of monounsaturated fatty acids.

Typically, milk fat globules are covered by a protective fat globule membrane, shielding them from oxidation reactions. However, the physical forces associated with ultrasound, particularly low-frequency ultrasound, lead to the rupture of milk fat globule membranes. This makes it easier for free radicals to target the polyunsaturated phospholipid fraction of the membrane, followed by the primary triacylglycerol fraction within the fat globules [42,43].

Regarding polyunsaturated fatty acids (PUFA), ultrasound treatment at 400 W (TS400) contains the highest concentration of PUFA compared to the other treatments. Both the control (CONV) and TS200 exhibit similar levels of polyunsaturated fatty acids. Ultrasound treatment at 600 W (TS600) contains the lowest amount of polyunsaturated fatty acids. Interestingly, Monteiro et al. [41] did not observe a significant difference in the composition of mono- and polyunsaturated fatty acids concerning different energy densities applied to dairy beverages.

The Atherogenicity Index (AI) and the Thrombogenicity Index (TI) are calculations that account for the fatty acid composition and are employed to assess potential impacts on cardiovascular health. Ultrasound treatment at 400 W (TS400) yields the highest values for AI and TI, indicating greater atherogenic and thrombogenic potential compared to the other treatments. The control (CONV) has an intermediate value, while TS200 has a lower value. TS600 displays the lowest values for AI and TI, suggesting a reduced impact on cardiovascular health [44].

The overall results suggest that ultrasound power influences the fatty acid composition of processed creamy cheese. Ultrasound treatment at 400 W leads to an increase in saturated fatty acids, resulting in higher atherogenicity and thrombogenicity, which could have implications for cardiovascular health. Conversely, ultrasound treatment at 600 W reduces the quantity of polyunsaturated fatty acids, potentially impacting the nutritional profile of the product. Therefore, changes in ultrasound power influence the fatty acid composition and, consequently, the nutritional characteristics of processed creamy cheese.

**Table 6.** Fatty acid profile of requeijão cremoso processed cheese

| Fatty acid ( $\mu\text{g/g}$ )        | CONV                            | TS200                          | TS400                           | TS600                          |
|---------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Caproic Acid (C6:0)                   | 115.45 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>  | 103.78 $\pm$ 0.07 <sup>c</sup> | 154.57 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>  | 90.42 $\pm$ 0.01 <sup>d</sup>  |
| Caprylic Acid (C8:0)                  | 67.76 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>   | 64.94 $\pm$ 0.07 <sup>c</sup>  | 95.29 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>   | 61.45 $\pm$ 0.14 <sup>d</sup>  |
| Capric Acid (C10:0)                   | 108.28 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>  | 104.53 $\pm$ 0.07 <sup>c</sup> | 144.68 $\pm$ 0.14 <sup>a</sup>  | 82.98 $\pm$ 0.04 <sup>d</sup>  |
| Lauric Acid (C12:0)                   | 112.96 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>  | 103.23 $\pm$ 0.06 <sup>c</sup> | 141.52 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>  | 80.28 $\pm$ 0.13 <sup>d</sup>  |
| Tridecanoid acid (C13:0)              | 8.87 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>    | 7.71 $\pm$ 0.06 <sup>c</sup>   | 10.85 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>   | 10.23 $\pm$ 0.17 <sup>a</sup>  |
| Myristic Acid (C14:0)                 | 321.31 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>  | 294.78 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup> | 432.87 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup>  | 246.20 $\pm$ 0.21 <sup>d</sup> |
| Myristoleic Acid (C14:1)              | 35.88 $\pm$ 0.07 <sup>b</sup>   | 35.16 $\pm$ 0.07 <sup>b</sup>  | 46.24 $\pm$ 0.14 <sup>a</sup>   | 26.70 $\pm$ 0.14 <sup>c</sup>  |
| Pentadecanoic Acid (C15:0)            | 38.47 $\pm$ 0.07 <sup>b</sup>   | 35.02 $\pm$ 0.07 <sup>c</sup>  | 48.15 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>   | 49.16 $\pm$ 0.23 <sup>a</sup>  |
| Palmitic Acid (C16:0)                 | 1090.71 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup> | 953.59 $\pm$ 0.03 <sup>c</sup> | 1354.01 $\pm$ 0.08 <sup>a</sup> | 745.92 $\pm$ 0.07 <sup>d</sup> |
| Palmitoleic Acid (C16:1)              | 69.34 $\pm$ 0.07 <sup>b</sup>   | 60.23 $\pm$ 0.07 <sup>c</sup>  | 88.88 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>   | 49.64 $\pm$ 0.15 <sup>d</sup>  |
| Margaric acid (C17:0)                 | 26.52 $\pm$ 0.07 <sup>b</sup>   | 22.48 $\pm$ 0.07 <sup>c</sup>  | 35.98 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>   | 15.56 $\pm$ 0.07 <sup>d</sup>  |
| Heptadecenoic acid (C17:1)            | 10.99 $\pm$ 0.04                | 12.99 $\pm$ 0.13               | 13.45 $\pm$ 0.04                | 13.24 $\pm$ 0.04               |
| Stearic Acid (C18:0)                  | 458.02 $\pm$ 0.07 <sup>b</sup>  | 408.07 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup> | 590.36 $\pm$ 0.14 <sup>a</sup>  | 315.17 $\pm$ 0.18 <sup>d</sup> |
| Oleic Acid (C18:1n9c)                 | 818.78 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>  | 727.65 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup> | 1020.44 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup> | 571.78 $\pm$ 0.14 <sup>d</sup> |
| Elaidic acid(C18:1n9t)                | 98.27 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>   | 95.31 $\pm$ 0.03 <sup>c</sup>  | 133.08 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>  | 76.93 $\pm$ 0.07 <sup>d</sup>  |
| Linolenic acid (C18:3n3)              | 13.44 $\pm$ 0.07 <sup>c</sup>   | 12.38 $\pm$ 0.07 <sup>d</sup>  | 17.24 $\pm$ 0.07 <sup>b</sup>   | 19.81 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>  |
| Linoleic acid (C18:2n6c)              | 94.96 $\pm$ 0.07 <sup>c</sup>   | 93.26 $\pm$ 0.07 <sup>c</sup>  | 127.29 $\pm$ 0.71 <sup>b</sup>  | 78.00 $\pm$ 0.14 <sup>c</sup>  |
| Eicosanoic acid (C20:0)               | 18.78 $\pm$ 0.07 <sup>c</sup>   | 17.81 $\pm$ 0.02 <sup>d</sup>  | 21.89 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>   | 19.57 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>  |
| Dihomo-gamma-linolenic acid (C20.3N6) | 10.14 $\pm$ 0.14 <sup>c</sup>   | 10.06 $\pm$ 0.07 <sup>c</sup>  | 11.38 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>   | 10.37 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>  |
| Arachidonic acid (C20.4N6)            | 17.01 $\pm$ 0.05 <sup>b</sup>   | 16.34 $\pm$ 0.07 <sup>c</sup>  | 18.20 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>   | 13.70 $\pm$ 0.07 <sup>d</sup>  |
| Eicosenoic acid (C20:1)               | 9.86 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>    | 9.74 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>   | 9.23 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>    | 9.28 $\pm$ 0.08 <sup>a</sup>   |
| Eicosadienoic acid                    | 10.87 $\pm$ 0.04 <sup>c</sup>   | 11.48 $\pm$ 0.07 <sup>b</sup>  | 13.74 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>   | 14.74 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>  |

|                         |                             |                             |                             |                             |
|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| (C20:2)                 |                             |                             |                             |                             |
| Docosanoic acid (C22:0) | 18.41 ± 0.07 <sup>a</sup>   | 16.34 ± 0.05 <sup>b</sup>   | 17.22 ± 0.06 <sup>b</sup>   | 18.33 ± 0.07 <sup>a</sup>   |
| Σ MUFA                  | 1043.12 ± 0.14 <sup>b</sup> | 928.09 ± 0.16 <sup>c</sup>  | 1265.08 ± 0.35 <sup>a</sup> | 747.54 ± 0.52 <sup>d</sup>  |
| Σ PUFA                  | 146.42 ± 0.20 <sup>c</sup>  | 143.52 ± 0.07 <sup>b</sup>  | 187.85 ± 0.91 <sup>a</sup>  | 121.88 ± 0.64 <sup>d</sup>  |
| AI                      | 2.09 ± 0.01 <sup>b</sup>    | 2.09 ± 0.01 <sup>b</sup>    | 2.22 ± 0.01 <sup>a</sup>    | 2.08 ± 0.01 <sup>b</sup>    |
| TI                      | 3.07 ± 0.01 <sup>b</sup>    | 3.02 ± 0.01 <sup>c</sup>    | 3.18 ± 0.01 <sup>a</sup>    | 2.77 ± 0.01 <sup>d</sup>    |
| HSFA                    | 1524.98 ± 0.26 <sup>b</sup> | 1351.60 ± 0.41 <sup>c</sup> | 1928.40 ± 0.45 <sup>a</sup> | 1072.40 ± 0.81 <sup>d</sup> |
| DFA                     | 1647.56 ± 0.92 <sup>b</sup> | 1479.68 ± 0.84 <sup>c</sup> | 2043.29 ± 1.20 <sup>a</sup> | 1184.59 ± 0.88 <sup>d</sup> |

\* Results are expressed as mean ± standard deviation. Different letters on the same line indicate a difference. MUFA: monounsaturated fatty acids. PUFA: polyunsaturated fatty acids. <LOD: limit of detection. AI (atherogenic index) = (C12:0 + 4 C14:0 + C16:0)/[ΣMUFA + ΣPUFA(n-6) and (n-3)]; TI (thrombogenic index) = (C14:0 + C16:0 + C18:0)/[0.5 x ΣMUFA + 0.5 x ΣPUFA(n-6) + 3 x ΣPUFA(n-3) + (n-3)/(n-6)]; DFA (desirable fatty acid index) = MUFA + PUFA + C18:0; HSFA (hypercholesterolemic saturated fatty acid index) = C12:0 + C14:0 + C16:0.

### 3.7 VOLATILE PROFILING

A combination of naturally occurring volatile compounds in milk contributes to the characteristic flavor identified in milk [45]. **Table 7** provides information about the volatile compounds found in processed creamy cheese subjected to different treatments, including the control treatment (CONV) and ultrasound treatments at 200 W (TS200), 400 W (TS400), and 600 W (TS600). Some volatile compounds are specific to certain treatments, while others are common to various treatments. The presence or absence of these volatile compounds can be attributed to processing conditions, including temperature and ultrasound power [43].

Dodecanal and 1-dodecanol are present in TS400 and TS600 but absent in CONV and TS200. This may affect the aroma of the cheese in the 400 W and 600 W ultrasound treatments. The more energetic ultrasound process may produce or release these compounds from the milk matrix. Toluene and 1-octanol are present in all treatments, including the control, indicating that they are common compounds in processed creamy cheese. Estragol is present in CONV, TS200, and TS600 but absent in TS400. This may contribute to the aroma and flavor of the cheese in different

treatments. The formation of hydrocarbons (such as 1-hexene, 1-octene, 1,3-butadiene, 1-nonene, 5-methyl-1,3-cyclopentadiene, benzene, toluene, p-xylene) and volatile carbonyls, such as aldehydes (n-hexanal and n-heptanal) and ketones (2-butanone and 2-pentanone), was detected only in sonicated samples [46]. When milks were treated with ultrasound, the authors observed an increase in the concentration of pentanal and nonanal with increasing applied energy density [47].

Some volatile compounds are present in one treatment but absent in others. For example, 2-pentanone is present in CONV and TS200 but absent in TS400 and TS600. The presence or absence of these differential compounds may contribute to variations in aroma and flavor between treatments. Ultrasound treatment increases the degree of lipid oxidation in sonicated milk, resulting in rapid deterioration of milk quality during storage [48].

**Table 7.** Volatile compounds of requeijão cremoso processed cheese

| Compound                         | LRI  | CONV | TS200 | TS400 | TS600 |
|----------------------------------|------|------|-------|-------|-------|
| Acetone                          | 1034 | X    | X     | X     | X     |
| Tetraethyl ammonium fluoride     | 1042 | -    | X     | -     | -     |
| Methylene chloride               | 1047 | X    | -     | -     | -     |
| 2-Pentanone                      | 1055 | X    | -     | X     | -     |
| Toluene                          | 1073 | X    | X     | X     | X     |
| Benzene, 1,3-dimethyl-           | 1135 | X    | X     | X     | X     |
| 2-Heptanone                      | 1198 | X    | X     | X     | X     |
| Limonene                         | 1201 | X    | X     | X     | X     |
| 1-Decyne+D13:D63                 | 1230 | X    | -     | -     | -     |
| Spiropentane, propyl-            | 1236 | -    | X     | -     | X     |
| Hexane, 2,4-dimethyl-            | 1291 | -    | -     | X     | -     |
| 2,4,6,8-Tetramethyl-1-undecene   | 1333 | X    | -     | -     | -     |
| Nonanal                          | 1395 | X    | -     | -     | -     |
| 2-Nonanone                       | 1396 | X    | X     | X     | X     |
| Pentane, 2,2,3,4-tetramethyl-    | 1407 | -    | X     | -     | -     |
| Decane, 3-ethyl-3-methyl-        | 1455 | X    | X     | -     | -     |
| Undecane, 3,8-dimethyl-          | 1457 | -    | -     | -     | X     |
| 1-Pentene, 4,4-dimethyl-         | 1494 | -    | -     | X     | -     |
| 1-Hexanol, 2-ethyl-              | 1495 | X    | X     | -     | X     |
| Dodecane, 1-iodo-                | 1503 | X    | -     | X     | -     |
| Dodecane, 2,6,11-trimethyl-      | 1508 | -    | X     | -     | -     |
| Benzaldehyde                     | 1526 | -    | -     | X     | X     |
| 1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl- | 1552 | X    | -     | -     | -     |
| 1-Octanol                        | 1561 | X    | X     | X     | X     |
| 2-Undecanone                     | 1591 | X    | -     | X     | X     |

|   |      |   |   |   |   |
|---|------|---|---|---|---|
| Hexane, 3,3-dimethyl-                                   | 1605 | - | - | X | - |
| Acetophenone  | 1648 | - | - | X | - |
| 1,14-Tetradecanediol                                    | 1709 | - | - | - | X |
| Dodecanal   | 1710 | - | X | X | - |
| (S)-3-Ethyl-4-methylpentanol                            | 1760 | - | - | - | X |
| Oxime-, methoxy-phenyl-                                 | 1775 | - | - | X | - |
| 1-Dodecanol, 3,7,11-trimethyl-                          | 1797 | - | X | - | - |
| Nonane, 1-iodo-   | 1801 | - | X | - | - |
| 2-Tridecanone   | 1806 | - | X | - | X |
| Hexanal, 2-methyl-                                      | 1806 | X | - | - | - |
| Estragole   | 1823 | X | X | - | - |
| Hexanoic acid   | 1848 | X | - | - | X |
| 2-Oxazolidinone, 3-amino-5-(4-morpholinylmethyl)-       | 1948 | X | X | X | X |
| 2H-Pyran-2-one, tetrahydro-6-propyl-                    | 1956 | X | X | X | X |
| 1-Dodecanol   | 1964 | X | X | - | - |
| 1-Decanol   | 1964 | - | - | X | - |
| Formic acid, decyl ester                                | 1964 | - | - | - | X |
| 2-Pentadecanone   | 2015 | X | - | - | X |
| Octanoic acid   | 2060 | X | X | X | X |
| 4-Morpholineethanamine                                  | 2163 | - | X | - | - |
| 5-Isopropyl-2,4-imidazolidinedione                      | 2163 | - | - | X | - |
| 2H-Pyran-2-one, tetrahydro-6-pentyl-                    | 2181 | X | X | X | X |
| n-Decanoic acid   | 2273 | X | X | X | X |
| 2-Furancarboxylic acid, tetrahydro-3-methyl-5-oxo-      | 2296 | X | - | - | - |
| Pentanoic acid, 5-hydroxy-, 2,4-di-t-butylphenyl esters | 2312 | X | - | - | - |
| 9-Decenoic acid   | 2335 | X | X | - | X |
| 1-Undecanol   | 2376 | - | X | X | - |
| 2H-Pyran-2-one, 6-heptyltetrahydro-                     | 2412 | X | X | X | X |
| Benzophenone  | 2464 | - | - | X | - |
| Dodecanoic acid   | 2486 | X | X | X | X |
| 1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester | 2535 | X | X | X | - |
| Tetradecanoic acid                                      | 2698 | X | X | X | - |
| n-Hexadecanoic acid                                     | 2909 | - | X | X | - |

\*LRI – Linear Retention Index. X- presence, -- absence, CONV (tradicional fusion, 80 °C/1 min); TS200, TS400, TS600 (Thermosonication at 80 °C/200 W, 80 °C/400 W and 80 °C/600 W, respectively).

## **4 CONCLUSIONS**

In conclusion, this research provides valuable insights into the utilization of ultrasound in the processing of creamy cheese. The findings confirm that ultrasound treatments, particularly at varying power levels, significantly influence the texture, color, fatty acid composition, and volatile compounds in the cheese. These effects are attributed to the mechanical, chemical, and physical changes induced by ultrasound in the cheese matrix. The softer texture, lighter color, and modified fatty acid profile observed in high-power ultrasound treatments have implications for the sensory and nutritional characteristics of the final product. Moreover, the alteration of volatile compounds underscores the potential for tailoring the cheese's aroma and flavor. This study highlights the importance of optimizing ultrasound parameters to achieve specific quality attributes in creamy cheese production and opens avenues for further research in this domain. It is evident that ultrasound processing is a promising technology with broad applications and may contribute to innovation in the dairy industry.

## **ACKNOWLEDGMENT**

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## **DECLARATION OF COMPETING INTEREST**

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

## REFERENCES

- [1] M.C. Rosa, M.R.S. Carmo, C.F. Balthazar, J.T. Guimarães, E.A. Esmerino, M.Q. Freitas, M.C. Silva, T.C. Pimentel, A.G. Cruz, Dairy products with prebiotics: An overview of the health benefits, technological and sensory properties, *International Dairy Journal*. 117 (2021) 105009. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105009>.
- [2] A.G. Cruz, *Processamento de produtos lácteos: Queijos, Leites Fermentados, Bebidas Lácteas, Sorvete, Manteiga, Creme de Leite, Doce de Leite, Soro em Pó e Lácteos Funcionais*, 1st ed., Elsevier Inc., Rio de Janeiro, 2017.
- [3] R. Silva, T.C. Pimentel, F. Eustáquio De Matos Junior, E.A. Esmerino, M.Q. Freitas, C.S. Fávaro-Trindade, M.C. Silva, A.G. Cruz, Microencapsulation with spray-chilling as an innovative strategy for probiotic low sodium requeijão cremoso processed cheese processing, *Food Bioscience*. 46 (2022) 101517. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101517>.
- [4] M.B. Soares, C.N. Almada, C.N. Almada, R.C.R. Martinez, E.P.R. Pereira, C.F. Balthazar, A.G. Cruz, C.S. Ranadheera, A.S. Sant'Ana, Behavior of different *Bacillus* strains with claimed probiotic properties throughout processed cheese ("requeijão cremoso") manufacturing and storage, *International Journal of Food Microbiology*. 307 (2019) 108288. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2019.108288>.
- [5] M.E. Pintado, J.A.L. Da Silva, F.X. Malcata, Characterization of Requeijão and technological optimization of its manufacturing process, *Journal of Food Engineering*. 30 (1996) 363–376. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(96\)00016-7](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(96)00016-7).
- [6] T.R. Arruda, P. Vieira, B.M. Silva, T.D. Freitas, A.J.B. Do Amaral, E.N.R. Vieira, B.R.D.C. Leite Júnior, What are the prospects for ultrasound technology in food processing? An update on the main effects on different food matrices, drawbacks, and applications, *J Food Process Engineering*. 44 (2021) e13872. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13872>.
- [7] H. Lee, H. Kim, K.R. Cadwallader, H. Feng, S.E. Martin, Sonication in combination with heat and low pressure as an alternative pasteurization treatment – Effect on *Escherichia coli* K12 inactivation and quality of apple cider, *Ultrasonics Sonochemistry*. 20 (2013) 1131–1138. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.01.003>.
- [8] J. Chandrapala, G.J.O. Martin, B. Zisu, S.E. Kentish, M. Ashokkumar, The effect of ultrasound on casein micelle integrity, *Journal of Dairy Science*. 95 (2012) 6882–6890. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5318>.
- [9] L.M. de Souza Carvalho, M.C.M. Lemos, E.A. Sanches, L.S. da Silva, J. de Araújo Bezerra, J.P.L. Aguiar, F. das Chagas do Amaral Souza, E.G. Alves Filho, P.H. Campelo, Improvement of the bioaccessibility of bioactive compounds from Amazon fruits treated using high energy ultrasound, *Ultrasonics Sonochemistry*. 67 (2020) 105148. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105148>.
- [10] H. Scudino, J.T. Guimarães, L. Cabral, V.B. Centurion, A. Gomes, A.S. Orsi, R.L. Cunha, A.S. Sant'Ana, A.G. Cruz, Raw milk processing by high-intensity ultrasound and conventional heat treatments: Microbial profile by amplicon sequencing and physical stability during storage, *Int J of Dairy Tech*. 75 (2022) 115–128. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12819>.
- [11] H. Scudino, E.K. Silva, A. Gomes, J.T. Guimarães, R.L. Cunha, A.S. Sant'Ana, M.A.A. Meireles, A.G. Cruz, Ultrasound stabilization of raw milk: Microbial and

- enzymatic inactivation, physicochemical properties and kinetic stability, *Ultrasonics Sonochemistry*. 67 (2020) 105185.  
<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105185>.
- [12] H. Scudino, E.R. Tavares-Filho, J.T. Guimarães, E.T. Mársico, M.C. Silva, M.Q. Freitas, T.C. Pimentel, E.A. Esmerino, A.G. Cruz, Consumers' attitudes of high-intensity ultrasound in Minas Frescal cheese processing: An innovative approach with text highlighting technique, *Food Research International*. 167 (2023) 112702. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112702>.
- [13] H. Scudino, J.T. Guimarães, G.L. Ramos, A. Santillo, T.C. Pimentel, A.G. Cruz, M. Albenzio, High-intensity ultrasound in cheese processing, *Current Opinion in Food Science*. 50 (2023) 101004. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2023.101004>.
- [14] S.H.M.C. Monteiro, E.K. Silva, J.T. Guimarães, M.Q. Freitas, M.A.A. Meireles, A.G. Cruz, High-intensity ultrasound energy density: How different modes of application influence the quality parameters of a dairy beverage, *Ultrasonics Sonochemistry*. 63 (2020) 104928.  
<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104928>.
- [15] J.T. Guimarães, P.P. Almeida, M.L. Brito, B.O. Cruz, N.S. Costa, R.V. Almeida Ito, J.C. Mota, M.R.V. Bertolo, S.T.B. Morais, R.P.C. Neto, M.I.B. Tavares, F. Souto, S. Bogusz Junior, T.C. Pimentel, M.B. Stockler-Pinto, M.Q. Freitas, A.G. Cruz, In vivo functional and health benefits of a prebiotic soursop whey beverage processed by high-intensity ultrasound: Study with healthy Wistar rats, *Food Chemistry*. 380 (2022) 132193.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132193>.
- [16] M.M. Strieder, E.K. Silva, M.A.A. Meireles, Advances and innovations associated with the use of acoustic energy in food processing: An updated review, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 74 (2021) 102863. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102863>.
- [17] J. Hu, O. Sari, S. Eicher, A. Rija Rakotozanakajy, Determination of specific heat of milk at different fat content between 1°C and 59°C using micro DSC, *Journal of Food Engineering*. 90 (2009) 395–399.  
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.07.009>.
- [18] Instituto Adolfo Lutz, Métodos físico-químicos para análise de alimentos, São Paulo, 2005.
- [19] N.F. Olson, W.V. Price, A Melting Test for Pasteurized Process Cheese Spreads, *Journal of Dairy Science*. 41 (1958) 999–1000.  
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(58\)91038-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(58)91038-5).
- [20] C.F. Balthazar, H.L.A. Silva, R.N. Cavalcanti, E.A. Esmerino, L.P. Cappato, Y.K.D. Abud, J. Moraes, M.M. Andrade, M.Q. Freitas, C. Sant'Anna, R.S.L. Raices, M.C. Silva, A.G. Cruz, Prebiotics addition in sheep milk ice cream: A rheological, microstructural and sensory study, *Journal of Functional Foods*. 35 (2017) 564–573. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.06.004>.
- [21] C.A. Schneider, W.S. Rasband, K.W. Eliceiri, NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis, *Nat Methods*. 9 (2012) 671–675.  
<https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>.
- [22] D.A. Gallina, Influência da temperatura de estocagem no perfil de textura e na cor do requeijão cremoso UHT, *Braz. J. Food Technol.* 11 (2008).
- [23] M.F. Sperry, H.L.A. Silva, C.F. Balthazar, E.A. Esmerino, S. Verruck, E.S. Prudencio, R.P.C. Neto, M.I.B. Tavares, J.C. Peixoto, F. Nazzaro, R.S. Rocha, J. Moraes, A.S.G. Gomes, R.S.L. Raices, M.C. Silva, D. Granato, T.C. Pimentel, M.Q. Freitas, A.G. Cruz, Probiotic Minas Frescal cheese added with L. casei 01:

- Physicochemical and bioactivity characterization and effects on hematological/biochemical parameters of hypertensive overweighted women – A randomized double-blind pilot trial, *Journal of Functional Foods*. 45 (2018) 435–443. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.04.015>.
- [24] L.M. Carrillo-López, M. Huerta-Jiménez, S. Morales-Rodríguez, J.R. Gámez-Piñón, D.E. Carballo-Carballo, N. Gutiérrez-Méndez, A.D. Alarcón-Rojo, Textural, Rheological, and Sensory Modifications in Oaxaca Cheese Made with Ultrasonicated Raw Milk, *Processes*. 11 (2023) 1122. <https://doi.org/10.3390/pr11041122>.
- [25] H. Feng, G. Barbosa-Canovas, J. Weiss, eds., *Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing*, Springer New York, New York, NY, 2011. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7472-3>.
- [26] J. O’Sullivan, M. Arellano, R. Pichot, I. Norton, The effect of ultrasound treatment on the structural, physical and emulsifying properties of dairy proteins, *Food Hydrocolloids*. 42 (2014) 386–396. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.05.011>.
- [27] M. Silva, J. Chandrapala, Ultrasonic Emulsification of Milk Proteins Stabilized Primary and Double Emulsions: A Review, *Food Reviews International*. 39 (2023) 1462–1484. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1934006>.
- [28] L. Zhou, J. Zhang, L. Xing, W. Zhang, Applications and effects of ultrasound assisted emulsification in the production of food emulsions: A review, *Trends in Food Science & Technology*. 110 (2021) 493–512. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.008>.
- [29] L.M. Carrillo-Lopez, M.G. Juarez-Morales, I.A. Garcia-Galicia, A.D. Alarcon-Rojo, M. Huerta-Jimenez, The Effect of High-Intensity Ultrasound on the Physicochemical and Microbiological Properties of Mexican Panela Cheese, *Foods*. 9 (2020) 313. <https://doi.org/10.3390/foods9030313>.
- [30] L. Abadía-García, E. Castaño-Tostado, L. Ozimek, S. Romero-Gómez, C. Ozuna, S.L. Amaya-Llano, Impact of ultrasound pretreatment on whey protein hydrolysis by vegetable proteases, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 37 (2016) 84–90. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.08.010>.
- [31] L. Chen, J. Chen, J. Ren, M. Zhao, Effects of Ultrasound Pretreatment on the Enzymatic Hydrolysis of Soy Protein Isolates and on the Emulsifying Properties of Hydrolysates, *J. Agric. Food Chem*. 59 (2011) 2600–2609. <https://doi.org/10.1021/jf103771x>.
- [32] D. Pingret, A.-S. Fabiano-Tixier, F. Chemat, Degradation during application of ultrasound in food processing: A review, *Food Control*. 31 (2013) 593–606. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.11.039>.
- [33] A. Amiri, A. Mousakhani-Ganjeh, S. Torbati, G. Ghaffarinejhad, R. Esmaeilzadeh Kenari, Impact of high-intensity ultrasound duration and intensity on the structural properties of whipped cream, *International Dairy Journal*. 78 (2018) 152–158. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2017.12.002>.
- [34] H.D.F.M. Justino, I.F. Dos Santos, R.C.N. De Souza, E.A. Sanches, J.D.A. Bezerra, C.V. Lamarão, A.C.D.S. Pires, P.H. Campelo, Exploring ultrasound-assisted technique for enhancing techno-functional properties of plant proteins: a comprehensive review, *Int J of Food Sci Tech*. (2023) ijfs.16673. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16673>.
- [35] L.L. Ferrão, M.V.S. Ferreira, R.N. Cavalcanti, A.F.A. Carvalho, T.C. Pimentel, H.L.A. Silva, R. Silva, E.A. Esmerino, R.P.C. Neto, M.I.B. Tavares, M.Q. Freitas, J.C.V. Menezes, L.M. Cabral, J. Moraes, M.C. Silva, S.P. Mathias, R.S.L.

- Raices, G.M. Pastore, A.G. Cruz, The xylooligosaccharide addition and sodium reduction in requeijão cremoso processed cheese, *Food Research International*. 107 (2018) 137–147. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.018>.
- [36] P.C. Belsito, M.V.S. Ferreira, L.P. Cappato, R.N. Cavalcanti, V.A.S. Vidal, T.C. Pimentel, E.A. Esmerino, C.F. Balthazar, R.P.C. Neto, M.I.B. Tavares, P.B. Zacarchenco, M.Q. Freitas, M.C. Silva, R.S.L. Raices, G.M. Pastore, M.A.R. Pollonio, A.G. Cruz, Manufacture of Requeijão cremoso processed cheese with galactooligosaccharide, *Carbohydrate Polymers*. 174 (2017) 869–875. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.07.021>.
- [37] S. Damodaran, A. Paraf, *Food Proteins and their Applications*, 1st ed., CRC Press, 2017. <https://doi.org/10.1201/9780203755617>.
- [38] D. Felix Da Silva, S. Barbosa De Souza Ferreira, M.L. Bruschi, M. Britten, P.T. Matumoto-Pintro, Effect of commercial konjac glucomannan and konjac flours on textural, rheological and microstructural properties of low fat processed cheese, *Food Hydrocolloids*. 60 (2016) 308–316. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.03.034>.
- [39] F.S. Florencia, Rheology of spreadable goat cheese made with autochthonous lactic cultures differing in their ability to produce exopolysaccharides, *Food Sci. Technol*. 33 (2013) 233–238. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612013005000034>.
- [40] M.D. Álvarez, S. Cofrades, M. Pérez-Mateos, A. Saiz, B. Herranz, Development and Physico-Chemical Characterization of Healthy Puff Pastry Margarines Made from Olive-Pomace Oil, *Foods*. 11 (2022) 4054. <https://doi.org/10.3390/foods11244054>.
- [41] S.H.M.C. Monteiro, E.K. Silva, V.O. Alvarenga, J. Moraes, M.Q. Freitas, M.C. Silva, R.S.L. Raices, A.S. Sant’Ana, M.A.A. Meireles, A.G. Cruz, Effects of ultrasound energy density on the non-thermal pasteurization of chocolate milk beverage, *Ultrasonics Sonochemistry*. 42 (2018) 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.11.015>.
- [42] D. Bermúdez-Aguirre, R. Mawson, G.V. Barbosa-Cánovas, Microstructure of Fat Globules in Whole Milk after Thermosonication Treatment, *Journal of Food Science*. 73 (2008). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00875.x>.
- [43] A. Thi Hong Bui, D. Cozzolino, B. Zisu, J. Chandrapala, Effects of high and low frequency ultrasound on the production of volatile compounds in milk and milk products – a review, *Journal of Dairy Research*. 87 (2020) 501–512. <https://doi.org/10.1017/S0022029920001107>.
- [44] D.L. Lino, J.T. Guimarães, G.L.P.A. Ramos, L.A. Sobral, F. Souto, R.P.C. Neto, M.I.B. Tavares, Celso Sant’Anna, E.A. Esmerino, E.T. Mársico, M.Q. Freitas, E.M.M. Flores, R.S.L. Raices, P.H. Campelo, T.C. Pimentel, M. Cristina Silva, A.G. Cruz, Positive effects of thermosonication in Jamun fruit dairy dessert processing, *Ultrasonics Sonochemistry*. 86 (2022) 106040. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106040>.
- [45] J.W. Fuquay, *Encyclopedia of dairy sciences*, 2nd ed, Elsevier/Academic Press, Amsterdam Boston, 2011.
- [46] J. Riener, F. Noci, D.A. Cronin, D.J. Morgan, J.G. Lyng, Characterisation of volatile compounds generated in milk by high intensity ultrasound, *International Dairy Journal*. 19 (2009) 269–272. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2008.10.017>.
- [47] P. Juliano, A.E. Torkamani, T. Leong, V. Kolb, P. Watkins, S. Ajlouni, T.K. Singh, Lipid oxidation volatiles absent in milk after selected ultrasound

processing, *Ultrasonics Sonochemistry*. 21 (2014) 2165–2175.

<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.03.001>.

[48] E. Chouliara, K.G. Georgogianni, N. Kanellopoulou, M.G. Kontominas, Effect of ultrasonication on microbiological, chemical and sensory properties of raw, thermized and pasteurized milk, *International Dairy Journal*. 20 (2010) 307–313.

<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2009.12.006>.

## **8. CONCLUSÃO DA TESE**

Este estudo foi o primeiro a avaliar a aplicação da técnica de termossonicação em substituição ao processo convencional de fusão para a produção de requeijão cremoso. Os tratamentos com TS levaram a uma melhora nos perfis de cor e derretimento em comparação com o tratamento controle. Além disso, os perfis reológicos sugerem que o tratamento com ultrassom ofereceu um perfil textural menos viscoso, caracterizado por maior espalhabilidade e suavidade dentro de um equilíbrio harmonioso entre constituintes sólidos e líquidos. A utilização de potências de TS mais altas (600 W) é aconselhada quando são necessários melhores perfis de ácidos graxos (menores teores de ácidos graxos saturados e índice trombogênico), podendo manter um melhor perfil volátil. A termossonicação é uma tecnologia emergente eficiente para requeijão, pois foram observados efeitos sinérgicos da temperatura com a cavitação. Portanto, ampliar a literatura científica com o avanço do estudo dos parâmetros de processo associados ao tratamento de TS e sua aplicação em diferentes matrizes alimentares e com adição de compostos bioativos torna-se importante.

## **9. PERSPECTIVAS FUTURAS**

O estudo do efeito da termossonicação em substituição ao processo de fusão tradicional de um requeijão cremoso foi fundamental para avaliar os parâmetros físico-químicos, reológicos e de microscopia. Através desse projeto obteve-se como resultado que a substituição de um processo pelo outro pode impactar na qualidade do produto, uma vez que houve alterações no perfil de ácidos graxos e voláteis, da cor, do tamanho dos glóbulos de caseína e na taxa de derretimento. Assim, é de extrema necessidade estudo sensoriais futuros, para avaliar se esses parâmetros comprometem a qualidade sensorial, assim como a escolha dos consumidores. Além disso, o mercado atual está crescente frente a produtos com características funcionais. Portanto, produtos com adição de prebióticos e probióticos vem ganhando destaque a cada dia. Logo, realizar estudos futuros a cerca do impacto da termossonicação em substituição da fusão convencional em requeijão cremoso com adição de probióticos ou prebióticos será interessante para o mercado brasileiro.

## ANEXOS

*Resumo expandido apresentado no Simpósio Integrado de Inovação em Tecnologia de Alimentos*

II SIITA Em Casa- Resumo Expandido  
Simpósio Integrado de Inovação Em Tecnologia De Alimentos  
Evento online - 17 a 20 de outubro



**Área de Publicação: Tecnologia de Alimentos**

### **TERMOSSONICAÇÃO: FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES EM PRODUTOS LÁCTEOS**

**R. S. MOURA<sup>1</sup>, J. R. H. LOPES <sup>1</sup>, A. G. CRUZ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), Rio de Janeiro, Brasil (rafaella.moura@ifrj.edu.br)*

#### **RESUMO**

A termossonicação é um método combinado de sonicação e calor, no qual o produto é submetido à ultrassom e calor moderado simultaneamente. Esta técnica tem se mostrado promissora para a indústria de leite e derivados. Isso porque através dela é possível obter a inativação de microrganismos e enzimas, melhorar a homogeneização, aumentar a viscosidade, aumentar a retenção de água, intensificar a disponibilidade de compostos bioativos, melhorar a textura e cor do produto lácteos, proporcionando assim um menor impacto na qualidade nutricional e sensorial dos alimentos em comparação com os tratamentos térmicos severos. Logo é notório, a procura dessas tecnologias alternativas nas indústrias de laticínios no intuito de obter produtos seguros e com elevado valor nutricional.

**Palavras-chaves:** Tratamentos térmicos alternativos; laticínios; pasteurização.

*Resumo expandido apresentado no Simpósio Integrado de Inovação em Tecnologia de Alimentos*

II SIITA Em Casa- Resumo Expandido  
Simpósio Integrado de Inovação Em Tecnologia De Alimentos  
Evento online - 17 a 20 de outubro



**Área de Publicação: Tecnologia de Alimentos**

**TERMOSSONICAÇÃO: APLICAÇÕES EM PRODUTOS ALIMENTÍCIOS**

**R. S. MOURA<sup>1</sup>, J. R. H. LOPES<sup>1</sup>, A. G. CRUZ<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), Rio de Janeiro, Brasil (rafaella.moura@ifrj.edu.br)*

**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.

## Resumo expandido apresentado no Congresso Euroamericano de procesos y productos alimentarios



### THE FUSION OF REQUEIJÃO CREMOSO PROCESSED CHEESE: IS IT POSSIBLE TO BE PERFORMED USING THERMOSONICATION?

Rafaela Silva Moura<sup>1</sup>; Jonas de Toledo Guimarães<sup>2</sup>; Gustavo Luis Paiva Anciêns Ramos<sup>1,2</sup>, Tatiana Colombo Pimentel<sup>1</sup>, Erick Almeida Esmerino<sup>2</sup>, Jose Ricardo Hassel Lopes<sup>1</sup>, Adriano Gomes da Cruz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRRJ), Departamento de Alimentos, 20270-021 Rio de Janeiro, Brazil. E-mail: rafaela.moura@ifrrj.edu.br, gustavo.anciens@gmail.com, jose.lopes@ifrrj.edu.br, adriano.gomes@ifrrj.edu.br; <sup>2</sup> Universidade Federal Fluminense (UFF), Faculdade de Veterinária, 24230-340, Niterói, Rio de Janeiro, Brazil. E-mail: jonas.guimaraes@gmail.com, erick.almeida@normal.com; <sup>3</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná (IFPR), Paranavai, Paraná 87703-536, Brazil. E-mail: tatiana.pimentel@ifpr.edu.br



#### Introducción

Requeijão cremoso processed cheese (RPC) is obtained by the fusion of the curd mass, cooked or not, drained and washed, which is obtained by acid and/or enzymatic coagulation of milk and has a consistency that can be spread with a knife at room temperature. RPC processing covers the heat treatment of the curd, namely fusion ( $90 \pm 5$  °C) until complete melting with the addition of emulsifying salts and milk cream. Due to the negative impact of thermal processing and aiming to decrease energy costs, it is interesting to evaluate other technological options for fusion as thermosonication (TS).

**Palabras-clave:** nonthermal technology, processed cheese, quality parameters.

#### Metodología

Gross composition (moisture, dry extract, protein, fat), optical parameters ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , WI), rheological assays (flow curves, and oscillatory tests), confocal microscopy, and functional properties (melting) were evaluated. All the analyses were performed in triplicate and the processing was repeated three times.

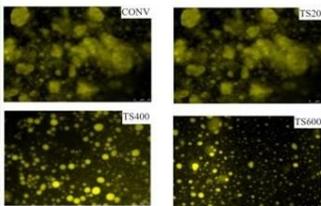
#### Resultados y discusión

##### Ultrasonic parameters of TS200, TS400 and TS600 treatments.

| PARAMETERS | AP    | IA    | PD    | SE   | ED   |
|------------|-------|-------|-------|------|------|
| TS200      | 5,60  | 12,06 | 0,028 | 3,38 | 0,12 |
| TS400      | 14,82 | 31,89 | 0,074 | 8,89 | 0,24 |
| TS600      | 15,57 | 35,67 | 0,083 | 9,94 | 0,36 |

Analysis performed in triplicate. Acoustic power of the process (AP) is expressed in W. Acoustic intensity (IA) is expressed in  $W\ cm^{-2}$ . Power density (PD) is expressed in  $W\ cm^{-3}$ . The specific energy (SE) is expressed in  $J\ g^{-1}$  and energy density is expressed in  $kJ\ cm^{-3}$ . CONV, TS200, TS400, TS600: traditional fusion, 80 °C/1 min, Thermosonication at 80 °C/200 W, 80 °C/400 W and 80 °C/600 W, respectively.

Confocal laser scanning microscopy of requeijão cremoso processed cheese samples. CONV (traditional fusion, 80 °C/5 min); TS200, TS400, TS600 (Thermosonication at 80 °C/200 W, 80 °C/400 W and 80 °C/600 W, respectively).



Values obtained for the variable  $L^*$  and for the chromatic coordinates  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  and for WI from the color analysis of the curd optimization experiments.

| Treatments | $L^*$        | $a^*$              | $b^*$            | $C^*$          | WI               |
|------------|--------------|--------------------|------------------|----------------|------------------|
| CONV       | $88 \pm 1^a$ | $-9,3 \pm 0,1^a$   | $28,1 \pm 0,3^a$ | $29,6 \pm 0,2$ | $68,1 \pm 0,2^a$ |
| TS200      | $94 \pm 1^a$ | $-8,42 \pm 0,02^a$ | $21,9 \pm 0,2^a$ | $23,5 \pm 0,2$ | $75,7 \pm 0,1^a$ |
| TS400      | $93 \pm 1^a$ | $-8,40 \pm 0,03^a$ | $21,2 \pm 0,2^a$ | $22,8 \pm 0,2$ | $76,3 \pm 0,2^a$ |
| TS600      | $94 \pm 1^a$ | $-8,3 \pm 0,2^a$   | $20,3 \pm 0,2^a$ | $21,8 \pm 0,3$ | $77,3 \pm 0,2^a$ |

Values are expressed as mean  $\pm$  standard deviation. The analysis was performed in quadruplicate. \*\*means different lowercase superscripts in the same column indicate the presence of statistical difference (p) < 0.05 among treatments.

#### Conclusiones

Thermosonication was able to generate positive changes in the RPC functional and physical properties, without effect on the intrinsic physical-chemical parameters determined by the legislation. In this sense, TS presented important benefits for RPC processing and its adoption should be taken into consideration.

#### Referencias

SCUDINO, H.; GUIMARÃES, J. T.; MOURA, R. S.; RAMOS, G. L. P. A.; PIMENTEL, T. C.; CAVALCANTI, R. N.; SOBRAL, L. A.; SILVA, M. C.; MARSICO, E. T.; ESMERINO, E. A.; FREITAS, M. Q.; PEREIRA, T. C.; FLORES, E. M.; CRUZ, A. G. Thermosonication as a pretreatment of raw milk for Minas frescal cheese production, Ultrasonics Sonochemistry, Vol. 92, 2023.

#### Agradecimientos

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## Termossonicação: Fundamentos e suas aplicações em produtos lácteos

Rafaella Silva Moura<sup>1</sup>, Jonas Toledo Guimarães<sup>2</sup>, Marcia Cristina Silva<sup>2</sup>, Jose Ricardo Hassel Lopes<sup>1</sup>, Adriano Gomes da Cruz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFRJ), Departamento de Alimentos

<sup>2</sup> Universidade Federal Fluminense (UFF), Faculdade de Veterinária

### INTRODUÇÃO

Os tratamentos térmicos convencionais, como pasteurização e esterilização, têm sido aplicados em produtos alimentícios (URANGO et al, 2021) no intuito de garantir a qualidade microbiológica, promovendo maior vida útil e qualidade aos mesmos (ARRUDA et al, 2021). Contudo, é notório que alguns desses tratamentos podem impactar negativamente nas características sensoriais, assim como diminuir o valor nutritivo dos alimentos. Logo, as tecnologias de processamentos que assegurem alimentos saudáveis com alto valor nutricional e seguros estão cada vez mais sendo procuradas pelas indústrias alimentícias. Entre as intrigantes buscas por processos

alternativos, a técnica de termossonicação ganha destaque (FIROUZ et al, 2019).

A termossonicação é um método combinado de sonicação e calor, na qual o produto é submetido à ultrassom e calor moderado simultaneamente (SACHIN et al, 2020). Através dessa técnica é possível gerar energia, proveniente das ondas sonoras de frequências superiores aos limites de faixa audível humana (acima de 20 kHz). Ao acoplar a técnica de sonicação com o tratamento térmico, inúmeras vantagens podem ser obtidas tais como: aumento das mortes microbianas, que contribui para promover maior conservação aos alimentos; mínima perda de sabor dos alimentos; economia significativa de energia devido aos menores tempos de processamento; aumento do valor nutricional dos alimentos ao promover a diminuição na

## Certificados

# Certificado

Certificamos que o trabalho **TERMOSSONICAÇÃO: FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES EM PRODUTOS LÁCTEOS** de autoria de **RAFAELLA SILVA MOURA, JOSÉ RICARDO HASSEL LOPES E ADRIANO GOMES DA CRUZ** foi publicado nos anais da segunda edição online do Simpósio Integrado de Inovação em Tecnologia de Alimentos, promovido pelo Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Viçosa, ocorrido entre os dias 17 e 20 de outubro de 2022.

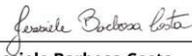
Viçosa/MG, 15 de dezembro de 2022.



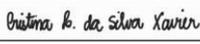
**Bruno Ricardo Castro de Leite Junior**  
Professor Coordenador do SIITA



**Márcia Cristina Teixeira Ribeiro Vidigal**  
Professora Coordenadora do SIITA



**Jessiele Barbosa Costa**  
Coordenadora Geral do SIITA



**Cristina Lucélia da Silva Xavier**  
Coordenadora Geral do SIITA



CÓDIGO DO CERTIFICADO: REW9Q-3Y7F8-D3H25-N9RHG      VERIFIQUE AUTENTICIDADE EM: <https://ime.events/certificado/validar/REW9Q-3Y7F8-D3H25-N9RHG>

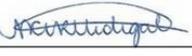
# Certificado

Certificamos que o trabalho **TERMOSSONICAÇÃO: APLICAÇÕES EM PRODUTOS ALIMENTÍCIOS** de autoria de **RAFAELLA SILVA MOURA, JOSE RICARDO HASSEL LOPES E ADRIANO GOMES DA CRUZ** foi publicado nos anais da segunda edição online do Simpósio Integrado de Inovação em Tecnologia de Alimentos, promovido pelo Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Viçosa, ocorrido entre os dias 17 e 20 de outubro de 2022.

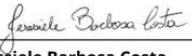
Viçosa/MG, 15 de dezembro de 2022.



**Bruno Ricardo Castro de Leite Junior**  
Professor Coordenador do SIITA



**Márcia Cristina Teixeira Ribeiro Vidigal**  
Professora Coordenadora do SIITA



**Jessiele Barbosa Costa**  
Coordenadora Geral do SIITA



**Cristina Lucélia da Silva Xavier**  
Coordenadora Geral do SIITA



CÓDIGO DO CERTIFICADO: CP4K8-7PXAP-X706Q-YMXY5      VERIFIQUE AUTENTICIDADE EM: <https://ime.events/certificado/validar/CP4K8-7PXAP-X706Q-YMXY5>



República Federativa do Brasil  
Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Certificamos que o trabalho intitulado **Termossonificação: Aplicação em Produtos Alimentícios** de autoria de **Rafaella Silva Moura, Jonas De Toledo Guimarães, Isabella Oliveira da Silva Cruz, Lilian Motta Felicio Ferreira, José Ricardo Hassel Lopes e Adriano Gomes da Cruz**, foi submetido no evento **X Simpósio de Tecnologia e Engenharia de Alimentos (SIMTEA) & II Simpósio de Engenharia Química (SIMEQ)**, realizado de 20/09/2023 a 22/09/2023, na cidade de Campo Mourão.

Campo Mourão, 20/09/2023 a 22/09/2023



Comissão Organizadora do X Simpósio de Tecnologia e Engenharia de Alimentos (SIMTEA)  
II Simpósio de Engenharia Química (SIMEQ)

#acciónreamigos

Código de autenticidad 18667459.83574442.729597.8.8667459835744427295978 <https://www.even3.com.br/documentos>

**II CONGRESO EUROAMERICANO  
DE PROCESOS E PRODUCTOS ALIMENTICIOS**

05 A 07 DE DEZEMBRO DE 2023

**“VALORIZACIÓN DE PRODUCTOS LOCALES: CIMIENTO DE  
SOSTENIBILIDAD Y CIRCULARIDAD”**

Certificamos que el trabajo en formato resumen titulado **THE FUSION OF REQUEIJÃO CREMOSO PROCESSED CHEESE: IS IT POSSIBLE TO BE PERFORMED USING THERMOSONICATION?**, de autoría de **Rafaella Silva Moura, Jonas De Toledo Guimarães, Gustavo Luis de Paiva Anciens Ramos, Tatiana Colombo Pimentel, Erick Almeida Esmerino, José Ricardo Hassel Lopes e Adriano Gomes da Cruz**, fue aprobado y presentado en formato e-poster en el II Congreso Euroamericano de Procesos y Productos Alimentarios.

Online, 08 de diciembre de 2023.

**Profa. Dra. Poliana Mendes de Souza**  
Organización central del II CEAPA

Organizadores:



## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRUDA, T.R *et al.* 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, 2021.

ATALAR I. *et al.* 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, 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. Portaria Nº 359, de 04 de setembro de 1997. Aprova o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do Requeijão.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. Portaria Nº 69, de 17 de Abril de 2019. Aprova o Regulamento Técnico que altera a Portaria MA- 356, de 04 Set 1997.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento- MAPA. Portaria Nº 146, de 07 de março de 1996. Aprova os Regulamentos Técnicos de Identidade e Qualidade dos Produtos Lácteos. Disponível em: <https://www.defesa.agricultura.sp.gov.br/legislacoes/portaria-mapa-146-de-07-03-1996,669.html>. Acesso em: 18 out de 2022.

CANCELLIERO, A.C; Detecção da origem das matérias graxas presentes em queijos e similares encontrados no mercado. 2007. Tese (Mestrado) – Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

CARRILO-LOPES L. M. *et al.* Recent advances in the application of ultrasound in dairy products: Effect on functional, physical, chemical, microbiological and sensory properties. **Ultrason Sonochem**, v.73, p. 105467, 2021  
Current Opinion in Food Science, Volume 42,p.140-147, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221479932100103X>> Acesso: 21 Set 2021.

CRUZ, A. G. *et al.* Processamento de produtos lácteos: Queijos, Leites Fermentados, Bebidas Lácteas, Sorvete, Manteiga, Creme de Leite, Doce de Leite, Soro em Pó e Lácteos Funcionais, **Elsevier**. 1. Ed., Rio de Janeiro, 2017.

FIROUZ, M. S.; Farahmandi, A.; Hosseinpour, S. Recent advances in ultrasound application as a novel technique in analysis, processing and quality control of fruits, juices and dairy products industries: A review. **Ultrason Sonochem**, v. 57, p. 73-88, 2019.

BELSITO, P. C. Desenvolvimento de Requeijão Prebiótico com Adição de galactooligossacarídeo. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado no Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, na área de concentração de Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica 2016.

BERGER, W.; KLOSTERMEYER, H.; MERKENICH, K; UHLMANN, G. Elaboración de Queso Fundido: Una Guía Joha®. BK Giulini Chemie GMBH& Co. Ladenburg, 1997. 237p

GÓRSKA-WARSEWICZ, H. *et al.* Milk and dairy products and their nutritional contribution to the average polish diet. **Nutrients**, v. 11, n. 8, p. 1771, 2019.

INMANNE, P. *et al.* Effect of thermosonication or microwave heating for post pasteurization on chemical, physical, and sensory characteristics of prototype sausage. **Agriculture and Natural Resources**, v. 54, 2020

ISAPP (International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics), Prebiotics, 2019. Disponível em: <<https://isappscience.org/for-consumers/learn/prebiotics/>>. Acesso em: 26 Set 2021.

LAWLESS, H.T.; HEYMANN, H. Sensory evaluation of food: principles and practices. Gaithersburg: **Aspen Publishers**, 27p, 1999.

LEE H, Kim H, Cadwallader KR, Feng H, Martin SE. Sonication in combination with heat and low pressure as an alternative pasteurization treatment--effect on Escherichia coli K12 inactivation and quality of apple cider. **Ultrason Sonochem**. 2013 Jul;20(4):1131-1138. Disponível em: Sonication in combination with heat and low pressure as an alternative pasteurization treatment--effect on Escherichia coli K12 inactivation and quality of apple cider - PubMed (nih.gov) Acesso: 21 Set 2021.

LINO, D.L., Guimarães, *et al.* Positive effects of thermosonication in Jamun fruit dairy dessert processing. **Ultrasonics Sonochemistry**. 86, 106040, 2022.

MORAES, M.A.C. Métodos para a avaliação sensorial dos alimentos. Campinas: Unicamp, 93p, 1990.

Meenu Rani, Monika Sood, Julie D Bandral, Anju bhat, Isha Gupta. Thermosonication technology and its application in food industry. **Int J Chem Stud**, 8, 922-928, 2020.

PAULA, Michelle Marie Cheminande. Efeito do uso de proteína concentrada do leite (MPC) nas características físico-químicas, reológicas e sensoriais do Requeijão Culinário. 2019. 57 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufjf.br/jspui/bitstream/ufjf>. Acesso em: 04 mar. 2021.

PEUCKERT, Y.P. *et al.* Caracterização e aceitabilidade de barras de cereais adicionadas de proteína texturizada de soja e camu-camu (*Myrciaria dubia*). **Alim Nutr**, v.21, n.1, p.147-152, 2010.

ROSA. M. C. *et al.* Dairy products with prebiotics: An overview of the health benefits, technological and sensory properties. **International Dairy Journal**, v. 117, p. 105009, 2021.

SILVA, M. F. *et al.* Bamboo as an eco-friendly material for food and biotechnology industries. **Current Opinion in Food Science**, 33, 124-130, 2020.

SILVA, R.; PIMENTEL, T. C.; JUNIOR, F. E. M.; ESMERINO, E. A.; MONICA Q. FREITAS, CARMEN SILVIA FÁVARO-TRINDADE, SILVA, M. C.; ADRIANO GOMES

CRUZ, A. G. Microencapsulation with spray-chilling as an innovative strategy for probiotic low sodium requeijão cremoso processed cheese processing, **Food Bioscience**, Vol. 46, 2022.

SIQUEIRA, K. B. O mercado consumidor de leite e derivados. **Circular Técnica Embrapa**, v. 120, p. 1-17, 2019.

URANGO, A. C. M. *et al.* Impact of Thermosonication Processing on Food Quality and Safety: a Review. **Food Bioprocess Technol**, v. 145, p. 112579, 2022.

VAN DENDER, A.G.F.; SPADOTI, L.M.; ZACARCHENCO, P.B.; TRENTO, F.K.H.S.; ORMENESE, R.C.S.C.; MORGANO, M.A. Efeito dos sais fundentes nas características do requeijão cremoso sem adição de gordura e com teor reduzido de sódio. Rev. Inst. Latic. "Cândido Tostes", Jul/Ago, nº 387, 67: 38-47, 2012

