

## USO DA ALTA PRESSÃO HIDROSTÁTICA EM LEITE E DERIVADOS LÁCTEOS

Gabriel da Silva de Souza<sup>a</sup>; Elson Rogério Tavares Filho<sup>b</sup>; Wanessa Pires da Silva<sup>c</sup>; Paula Thaís dos Santos Soares<sup>b</sup>; Adriana Cristina de Oliveira Silva<sup>c</sup>; Eliane Teixeira Mársico<sup>c</sup>; Mônica Marques Pagani<sup>c</sup>; Erick Almeida Esmerino<sup>b,c</sup>

<sup>a</sup>Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil;

<sup>b</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil;

<sup>c</sup>Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, Rio de Janeiro, Brasil.

### RESUMO

O interesse por tecnologias de processamento emergentes não térmicas tem crescido na indústria láctea, especialmente as que permitem a melhoria sensorial e nutricional do produto. A alta pressão constitui em um exemplo dessas tecnologias e vem apresentando boa performance em produtos lácteos. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar os principais efeitos do uso da alta pressão em leite e derivados, destacando sua influência em seus parâmetros de qualidade intrínsecos.

**Palavras-chave:** tecnologias não térmicas, produtos lácteos, APH.

## 1. INTRODUÇÃO

A forte concorrência do setor alimentício, associada ao maior nível de informação dos indivíduos, torna o mercado consumidor cada vez mais atento e exigente. Neste contexto, as preocupações presentes no momento de compra e consumo não mais se restringem ao prazo de validade e a vida de prateleira. Estendendo-se também para a qualidade sensorial, composição nutricional, apelos ecológicos da produção e ações de rotulagem (IMTIYAZ *et al.*, 2021). A alta competitividade e a plasticidade da matéria, capaz de gerar produtos com alegações distintas, torna o setor de laticínios um dos mais alinhados ao processo de inovação e de melhoria contínua.

Desta forma, o interesse por tecnologias de processamento emergentes tem crescido na indústria láctea, especialmente as que permitem a melhoria sensorial e nutricional do produto. As tecnologias de processamento convencionais, em especial as que utilizam troca de calor ativa, são reconhecidas por sua maior chance de agressão aos nutrientes do alimento e maior risco de promoverem alterações drásticas nas características físico-químicas e sensoriais (CHACHA *et al.*, 2021). Soma-se a isso, muitas vezes, um grande gasto energético que pode elevar os custos de produção. Por esse motivo, a pesquisa com novos métodos de processamento busca tecnologias capazes de preservar as características nutricionais e sensoriais, conservando a segurança dos alimentos, em um modelo de processamento vantajoso a nível econômico e ecológico (BILBAO-SÁINZ *et al.*, 2009). As novas tecnologias destinadas ao processamento, sobretudo a conservação dos alimentos, podem ser agrupadas em processos do tipo térmicos e não térmicos. O aquecimento ôhmico, por radiofrequência, por micro-ondas e por radiação infravermelha são definidos como processos térmicos. Enquanto a alta pressão hidrostática, a ozonização, a irradiação ultravioleta, a radiação não ionizante, o plasma frio e o ultrassom são definidos como não térmicos. Dessas, a alta pressão hidrostática é a única que foi comercializada em larga escala na última década (HUANG e WANG, 2020).

A Alta Pressão Hidrostática (APH), também conhecida como Alta Pressão Isostática, vem apresentando boa performance em produtos lácteos

(SELVAMUTHUKUMARAN *et al.*, 2021). A técnica se baseia na aplicação uniforme de alta pressão por todo o alimento, com intuito de promover a inativação microbiana sem a necessidade da aplicação de calor ativo (CHAWLA *et al.*, 2011). De forma mais específica, o emprego dessa tecnologia para a conservação de produtos alimentícios se dá pela utilização controlada, tempo-específica, de pressões na faixa de 100 MPa a 1000Mpa em temperaturas variando de 0 °C a 120 °C (AGANOVIC *et al.*, 2021). No entanto, pressões na faixa de 200 a 600 MPa em temperatura ambiente são geralmente empregadas para substituir a pasteurização comercial, com tempos de processamento raramente superiores a 5 min (AGANOVIC *et al.*, 2021).

A tecnologia de alta pressão hidrostática apresenta algumas vantagens em relação aos métodos convencionais. Dentre as quais, destacam-se a homogeneidade do tratamento, uma vez que a pressão é estabelecida em todo alimento, o menor gasto energético, quando se compara a energia necessária para pressurizar um alimento a 500 MPa a um aquecimento a 100 °C, além de um menor tempo de processo e a mitigação de prejuízos sensoriais e nutricionais (XIA *et al.*, 2022). A menor agressividade do método tem permitido a sua utilização em produtos funcionais, preservando a viabilidade probiótica e a atividade de compostos bioativos.

## 2. ASPECTOS GERAIS DA ALTA PRESSÃO HIDROSTÁTICA

O processamento por alta pressão hidrostática, como tecnologia de pasteurização não térmica, já é aplicado em larga escala na indústria alimentícia desde 1990, quando a técnica foi utilizada para a produção comercial de geleias de frutas (YAMAMOTO, 2017). Desde então, sua utilização tem sido proposta para diferentes tipos de alimentos, como vegetais, produtos cárneos e frutos do mar (PRÉSTAMO e ARROYO,1998; SUN e HOLLEY, 2010; RATHOD, *et al.* 2022). Dentre as vantagens associadas ao emprego da APH, destaca-se o efeito positivo no valor nutricional do alimento, que pode ser preservado ou mesmo aumentado, através da promoção da biossíntese de ácido *g-aminobutírico*, retenção de componentes

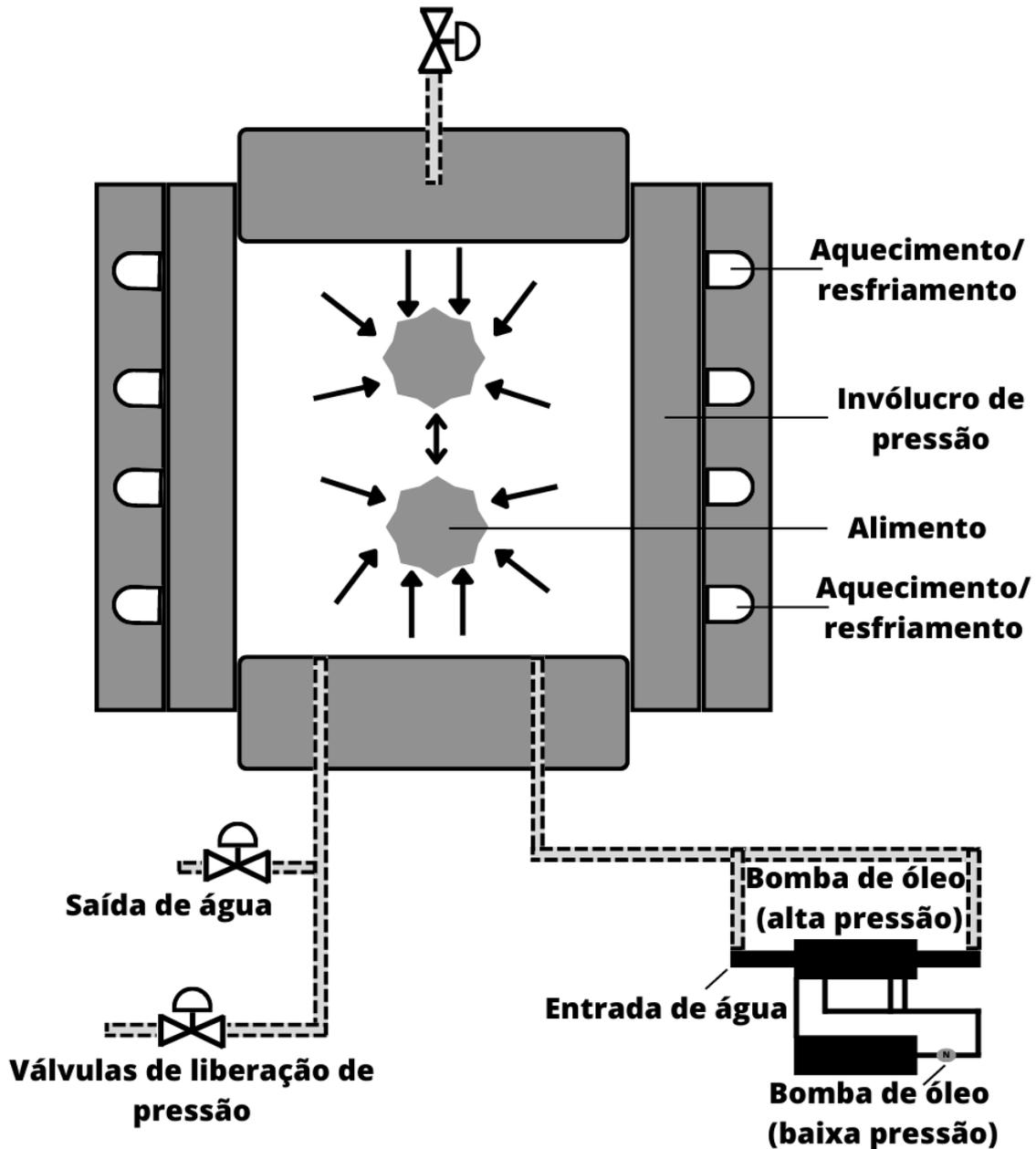
derivados das imunoglobulinas lácteas, promoção do aumento do teor de amido resistente em cereais e redução do índice glicêmico de frutas e hortaliças (HUANG *et al.*, 2020).

Como a tecnologia de APH foi desenvolvida inicialmente como uma alternativa ao tratamento térmico para conservação de alimentos, os efeitos dela sobre os microrganismos foram mais estudados do que as potencialidades de sua aplicação para melhorar o produto sensorialmente (RENDUELES *et al.*, 2011). Os bolores e as leveduras são mais sensíveis à pressão do que as células vegetativas, enquanto os esporos bacterianos são mais resistentes (POTTIER *et al.*, 2017). A sensibilidade dos microrganismos à alta pressão depende do pH, atividade de água, teor de sal e substratos alimentares (RENDUELES *et al.*, 2011).

A APH possui elevada capacidade de modificação estrutural, podendo ser utilizada tanto para inativação quanto para a ativação enzimática, a depender dos parâmetros estratégicos de processamento. Há também a prevenção da formação ou metabolização de compostos químicos com impacto negativo, além da inativação de microrganismos patogênicos e deteriorantes. As ações sobre os microrganismos são fundamentais para garantir, além da segurança, a qualidade nutricional e sensorial. A tecnologia permite a obtenção de alimentos similares ao alimento fresco, reduzindo ou eliminando a necessidade de adição de aditivos. Durante o processamento, as ligações moleculares, mais precisamente, as ligações covalentes, não são afetadas, o que proporciona a preservação da característica sensorial original. Apesar do alto custo inicial de aplicação e operação da APH, sua viabilidade econômica ainda é positiva, devido ao alto valor agregado final que pode ser obtido dos produtos de seu processamento (CHAWLA, 2011).

Um alimento quando submetido ao processamento por APH deve estar acondicionado em embalagem resistente e flexível, capaz de resistir a deformação causada pela pressão elevada do meio, sem sofrer solução de continuidade (HUANG *et al.*, 2020). O produto embalado é colocado no interior da câmara de pressão, essa, por sua vez, é fechada e preenchida com o meio de transmissão de pressão, até que todo o ar presente seja removido. Um modelo esquemático do equipamento de APH pode ser visto na Figura 1. O ganho de popularidade da APH tem sido relacionado ao aumento da vida útil dos produtos e a redução da possibilidade de

recontaminação no momento do envase, uma vez que o produto é geralmente processado já em sua embalagem primária final (SINGH e YOUSEF, 2001).



**Figura 1.** Modelo esquemático de um equipamento de Alta pressão Hidrostática

**Fonte:** Traduzido e adaptado de Chawla et al. (2011).

### 3. APLICAÇÃO DA ALTA PRESSÃO HIDROSTÁTICA EM LATICÍNIOS

Embora seja muito eficiente na eliminação de microrganismos vegetativos,  
**Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente – Vol.3 – N.2**

quando aplicado em temperatura ambiente, a APH tem pouco ou nenhum efeito sobre os esporos bacterianos. Assim, torna-se importante ressaltar que *Bacillus* spp. e outros microrganismos formadores de esporos não podem ser inativados no leite ou em outros produtos lácteos processados por APH sem aquecimento. Deste modo, mesmo após o processamento, esses microrganismos podem causar problemas de deterioração e causar riscos de segurança alimentar. A APH também pode influenciar as características físico-químicas e tecnológicas do leite, modificando a estrutura dos seus componentes. O processo de pressurização pode ocasionar alterações conformacionais nas proteínas do leite, rompendo as micelas de caseína, bem como a estrutura das proteínas do soro (STRATAKOS *et al.*, 2019).

A aplicação de APH em iogurtes permite a redução da necessidade de aditivos na formulação, especialmente os relacionados a textura. A alta pressão é capaz de promover o aumento no grau de firmeza e viscosidade, refletindo em ganhos de consistência e corpo no produto final. A diminuição do uso de estabilizantes e espessantes confere um maior apelo de “naturalidade” e “saudabilidade” aos produtos, além de preservar suas características sensoriais. Os efeitos de alteração conformacional também são vistos em leites fermentados e queijos, sendo caracterizada no último, pela desnaturação e por consequência a incorporação de proteínas do soro ao coágulo (LÓPEZ-FANDIÑO *et al.*, 1996; TRUJILLO *et al.*, 2002; LÓPEZ-FANDIÑO, 2006; CONSIDINE *et al.*, 2007).

No Quadro 1 são apresentados estudos realizados em diferentes tipos de queijos, submetidos a magnitudes distintas de pressão e tempo. É possível observar que a alteração sensorial variou de acordo com o tipo de queijo. A muçarela, por exemplo, teve um aumento de fluidez. Enquanto o cheddar e o queijo fresco tornaram-se menos quebradiços, firmes e com gomosidade. No entanto, em ensaios com magnitude de 400Mpa, o cheddar não apresentou alteração na firmeza do produto final (MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ *et al.*, 2012; VOIGT *et al.*, 2012).

**Quadro 1.** Aplicabilidade da pressurização em alguns tipos de queijos, sob efeito de pressão em determinado intervalo.

Queijos	Magnitude	Intervalo	Textura
Muçarela	400MPa	20 minutos	Aumento da fluidez
Muçarela (com reduzido teor de gordura)	400MPa	5 minutos	Aumento da fluidez
Queijo cheddar	400MPa	-	Não causou alteração na firmeza do produto *
Queijo fresco	400MPa	20 minutos	Menos quebradiços. Apresentam firmeza e gomosidade
Queijo cheddar	400 a 600 MPa	20 minutos	Menos quebradiços. Apresentam firmeza e gomosidade

(\*) Não causou alterações na firmeza do produto, porém modificou o padrão de deformação ao longo da maturação.

O leite de cabra e de vaca, quando tratados via pasteurização e APH, alcançaram 22 dias de vida de prateleira quando armazenados a 8°C. Sem que houvesse o aumento de *Bacillus cereus*, esporos aeróbios mesófilos, coliformes, leveduras e mofo. Todavia, um ligeiro aumento nas bactérias psicotrópicas e na contagem total de placas foi observado no leite de cabra nos últimos dias de armazenamento, indicando menor estabilidade desse quando comparado ao bovino. As três combinações de HPA utilizadas foram 450 MPa/7 min, 600 MPa/5 min e 600 MPa/7 min. A pasteurização foi do tipo HTST a 72 °C por pelo menos 15 segundos (TAN *et al.* 2020). Tem crescido a evidência de que para o leite, 600 MPa por 5 min é a faixa adequada para reduzir de 5 a 7 ciclos de log, resultando em produtos seguros comparáveis aos tradicionalmente pasteurizados (SERNA-HERNANDEZ *et al.* 2021).

Em iogurtes, pode-se observar que o tratamento do leite com HPA na faixa

de 600-700 Mpa por 10 minutos promoveu segurança microbiológica semelhante ao processamento térmico severo, 93°C por 20 minutos, gerando um produto com melhor rigidez e a resistência à quebra, bem como melhor viscosidade e aceitação sensorial e menor granulação (SWELAM, 2018). Na produção de kefir, utilizando-se leite previamente pasteurizado, o efeito da APH a 200 e 400 Mpa por 5 minutos no leite, antes da fermentação, promoveu uma diminuição na luminosidade e na intensidade da cor para o kefir de leite integral. O efeito oposto foi visto para o kefir desnatado. Contudo, ambos tiveram melhorias estruturais e de textura (RENES, 2020).

Quando associado a aplicação de calor moderado, 45° por 10 minutos, 350 MPa foi capaz de promover uma inativação maior do que 7 ciclos logarítmicos em um experimento com *Staphylococcus aureus* em leite UHT. Passados 15 dias de estocagem a 4°C, verificou-se a presença de células viáveis novamente. Entretanto, quando o leite UHT foi submetido à magnitude de 600 Mpa, a 20°C de temperatura, por 30 minutos, observou-se a inativação de 5 ciclos (BOZOGLU et al. 2004). O que sinaliza a importância da adição de calor em processos de conservação de leite.

López-Pedemonte *et al.* (2007) inocularam duas diferentes linhagens de *S. aureus* em leite pasteurizado que seria utilizado na produção de queijos. A matéria prima foi então submetida a pressurizações com magnitudes de 300, 400 e 500MPa, durante 10 minutos, a 5°C ou 20°C. A etapa de maturação foi conduzida a uma temperatura de 8°C por 30 dias. Neste período, a contagem de *S. aureus* foi verificada no dia do tratamento e após 2, 15 e 30 dias de maturação. Embora o grau de inativação tenha sido proporcional as magnitudes de pressurização, foi possível verificar a presença de enterotoxina antes do tratamento com APH e 30 dias após a maturação, reforçando a necessidade do controle rigoroso dos parâmetros durante o processo de fabricação de queijos, devido ao efeito incerto de APH na atividade da enterotoxina estafilocócica.

A pressurização foi capaz de promover a inativação de *Listeria monocytogenes* em queijos obtidos de leite bovino e ovino, sem causar prejuízo a suas características sensoriais (TRUJILLO *et al.*, 2002). López-Pedemonte (2007) relatou que o emprego de APH associado ao aquecimento brando, tempo de maturação adequado e

**Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente – Vol.3 – N.2**

refrigeração foram capazes de garantir a segurança microbiológica de queijos (TRUJILLO *et al.*, 2002).

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processamento de laticínios com Alta Pressão Hidrostática é bem fundamentado para a conservação da qualidade nutricional e sensorial do produto. Entretanto, a relação de segurança microbiológica integral ou parcial dos alimentos submetidos à APH é dependente de vários fatores. Por exemplo, as condições do processamento (pressão, tempo, temperatura, ciclos), a matriz do alimento (fatores intrínsecos) e pelo estado fisiológico dos microrganismos. Pode-se notar a resistência dos microrganismos à pressão com variação considerável entre os patógenos nos estudos até o momento. A associação da APH com métodos envolvendo a utilização de calor ativo, mesmo que em temperaturas subótimas, parece ser o melhor caminho para assegurar as melhorias sensoriais e nutricionais do produto sem comprometer a segurança microbiológica.

#### 5. REFERÊNCIAS

- AGANOVIC, K. et al. Aspects of high hydrostatic pressure food processing: Perspectives on technology and food safety. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 20, n. 4, p. 3225-3266, 2021.
- BILBAO-SÁINZ, C. et al. Protease stability in bovine milk under combined thermal-high hydrostatic pressure treatment. **Innovative food science & emerging technologies**, v. 10, n. 3, p. 314-320, 2009.
- BOZOGLU, F.; ALPAS, H.; KALETUNÇ, G. Injury recovery of foodborne pathogens in high hydrostatic pressure treated milk during storage. **FEMS Immunology & Medical Microbiology**, v. 40, n. 3, p. 243-247, 2004.
- CHACHA, J. S. et al. Revisiting Non-Thermal Food Processing and Preservation Methods—Action Mechanisms, Pros and Cons: A Technological Update (2016–2021). **Foods**, v. 10, n. 6, p. 1430, 2021.

- CHAWLA, R.; PATIL, G.; SINGH, A. High hydrostatic pressure technology in dairy processing: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 48, n. 3, p. 260-268, 2011.
- CONSIDINE, T. et al. Interactions of milk proteins during heat and high hydrostatic pressure treatments—a review. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 8, n. 1, p. 1-23, 2007.
- HUANG, H.W.; HSU, C.P.; WANG, C.Y. Healthy expectations of high hydrostatic pressure treatment in food processing industry. **Journal of Food and Drug Analysis**, v.28, n.1, p. 1-13, 2020.
- IMTIYAZ, H.; SONI, P.; YUKONGDI, V. Role of sensory appeal, nutritional quality, safety, and health determinants on convenience food choice in an academic environment. **Foods**, v. 10, n. 2, p. 345, 2021.
- LOPEZ-FANDINO, R.; CARRASCOSA, A. V.; OLANO, A. The effects of high pressure on whey protein denaturation and cheese-making properties of raw milk. **Journal of Dairy Science**, v. 79, n. 6, p. 929-936, 1996.
- LÓPEZ-FANDIÑO, R.. High pressure-induced changes in milk proteins and possible applications in dairy technology. **International Dairy Journal**, v. 16, n. 10, p. 1119-1131, 2006.
- LÓPEZ-PEDEMONTE, T. High hydrostatic pressure treatment applied to model cheeses made from cow's milk inoculated with *Staphylococcus aureus*. **Food Control**, v. 18, n. 5, p. 441-447, 2007.
- MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ, Y. et al. High hydrostatic pressure processing of cheese. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 11, n. 4, p. 399-416, 2012.
- POTTIER, L.; VILLAMONTE, G.; LAMBALLERIE, M. Applications of high pressure for healthier foods. **Current Opinion in Food Science** v. 16, p. 21–27, 2017.
- PRÉSTAMO, G.; ARROYO, G. High hydrostatic pressure effects on vegetable structure. **Journal of Food Science**, v. 63, n. 5, p. 878-881, 1998.
- RATHOD, N. B. et al.. Recent developments in non-thermal processing for seafood and seafood products: cold plasma, pulsed electric field and high hydrostatic pressure. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 57, n. 2, p. 774-790, 2022.

- RENDUELES, E. et al. Microbiological food safety assessment of high hydrostatic pressure processing: A review. **LWT-Food Science and Technology**, v. 44, n. 5, p. 1251-1260, 2011.
- RENES, E. et al. Effect of high hydrostatic pressure processing of milk on the quality characteristics of kefir. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, n. 10, p. e14797, 2020.
- SELVAMUTHUKUMARAN, M.; NIRMAL, Nilesch Prakash; MAQSOOD, Sajid. High Hydrostatic Pressure Processing for Dairy Products. **In: Non-Thermal Processing Technologies for the Dairy Industry**. CRC Press, 2021. p. 35-42.
- SERNA-HERNANDEZ, Sergio O. et al. High hydrostatic pressure induced changes in the physicochemical and functional properties of milk and dairy products: a review. **Foods**, v. 10, n. 8, p. 1867, 2021.
- SINGH, R. P.; YOUSEF, A. E. Technical elements of new and emerging non-thermal food technologies. **FAO report**, v. 53, 2001.
- STRATAKOS, A. et al. Effect of high-pressure processing on the safety, shelf life and quality of raw milk. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 52, p. 325–333, 2019.
- SUN, X. D.; HOLLEY, R. A. High hydrostatic pressure effects on the texture of meat and meat products. **Journal of Food Science**, v. 75, n. 1, p. R17-R23, 2010.
- SWELAM, S.. Impact of high hydrostatic pressure on composition and quality of yoghurt. **Journal of Food and Dairy Sciences**, v. 9, n. 1, p. 31-35, 2018.
- TAN, S. Fern et al. Physico-chemical changes, microbiological properties, and storage shelf life of cow and goat milk from industrial high-pressure processing. **Processes**, v. 8, n. 6, p. 697, 2020.
- TRUJILLO, A. J. et al. Applications of high hydrostatic pressure on milk and dairy products: a review. **Innovative Food Sciences and Emerging Technologies**, v. 3, n. 4, p. 295-307, 2002.
- VOIGT, D. D. et al. Effect of high-pressure treatment of milk for cheese manufacture on proteolysis, lipolysis, texture and functionality of Cheddar cheese during ripening. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 13, p. 23-30, 2012.
- XIA, Q. et al. High Hydrostatic Pressure-Based Combination Strategies for Microbial Inactivation of Food Products: The Cases of Emerging Combination Patterns.
- Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente – Vol.3 – N.2**

**Frontiers in Nutrition**, v. 9, 2022.

YAMAMOTO, K. **Food processing by high hydrostatic pressure**, **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, Volume 81, Issue 4, Pages 672–679, 3 April 2017.