

Tratamento térmico de frutas e vegetais: uma revisão com ênfase em aquecimento ôhmico

Siqueira, N. S. T. ¹, Cruz, A. G. ², Martins, C. P. C. ³, Filho, E. R. T. ³, Baía, S. C. S. ³, Silva, W. P. ³, Esmerino, E. A. ³, Meleiro, C. H. A. ³, Pagani, M. M. ¹

¹ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Seropédica/RJ, Brasil

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ)
Departamento de Alimentos, Rio de Janeiro/RJ, Brasil

³ Universidade Federal Fluminense (UFF), Faculdade de Veterinária, Niterói/RJ, Brasil

Resumo

A importância do aquecimento na conservação de alimentos através de métodos convencionais, como a pasteurização, é reconhecida, mas apresenta como desvantagem a utilização do calor excessivo, apresentando impactos sensoriais e nutricionais indesejáveis. Tecnologias emergentes, como o aquecimento ôhmico, ultrassom de alta intensidade, plasma frio e ultra pressão hidrostática, são estudadas pela eficiência energética e preservação da matriz alimentar. No aquecimento ôhmico, a utilização da resistividade do alimento, proporciona aumento rápido da temperatura, preservando nutrientes e conferindo estabilidade aos aromatizantes e aos pigmentos. As aplicações incluem diversos alimentos, como vegetais e frutas, mostrando vantagens sensoriais sobre a pasteurização, como a preservação da cor. O propósito deste estudo foi realizar uma revisão bibliográfica abordando a utilização do aquecimento ôhmico em produtos vegetais apresentando seu efeito sobre as características sensoriais e as principais enzimas desse grupo de alimentos. A pesquisa foi conduzida por meio da análise de estudos presentes nas plataformas dos Internet Archive, Periódicos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e SciELO (Scientific Electronic Library Online).

Palavras-chaves: Aquecimento ôhmico; tratamento térmico; tecnologia emergentes; frutas; vegetais.

1. Introdução

O aquecimento é um dos meios mais antigos de processamento e conservação de alimentos (KAUR & SINGH, 2016). O aquecimento convencional se baseia na condução e convecção contínua, sendo a tecnologia de tratamento térmico mais popular na indústria alimentícia. Apesar do baixo custo de implementação, os métodos clássicos de transferência de calor, como por exemplo a pasteurização, podem apresentar algumas desvantagens relacionadas ao emprego de calor excessivo. A pasteurização é um tratamento térmico realizado em temperaturas inferiores aos 100°C. Diversos tipos de equipamento podem ser utilizados para a pasteurização, sendo os mais comuns aqueles com trocadores de calor de vapor ou água quente, havendo também equipamentos que aquecem via micro-ondas, calor seco e radiações ionizantes (FELLOWS, 2018).

A pasteurização tem como intuito destruir as formas vegetativas de micro-organismos mais frequentes no alimento, principalmente aquelas com potencial patogênico. Porém, o caráter brando da pasteurização impede que ocorra a esterilização do alimento e, por isso, a técnica geralmente é combinada com outras formas de conservação, como por exemplo, refrigeração, adição de conservantes, fermentação (pressão seletiva) e uso de embalagens modificadas (LIU et al., 2020). O tratamento térmico por ultra alta temperatura também é bastante difundido na indústria, este tipo de processo consiste em submeter o alimento, por poucos segundos, a uma temperatura entre 130°C e 150°C e imediatamente resfriá-los a uma temperatura inferior a 32°C.

Contudo, o processamento térmico também pode promover alterações sensoriais indesejáveis, como a desnaturação excessiva de proteínas, perda de nutrientes, decomposição de nutracêuticos, liberação de voláteis indesejáveis e alterações sensoriais drásticas. Na cadeia produtiva do queijo, por exemplo, faixas de temperatura acima de 70° podem desnaturar as proteínas da membrana do glóbulo de gordura, expondo e ativando diversos resíduos de aminoácidos (LEE & SHERBON, 2002).

Além disso, a queima de combustíveis fósseis para gerar calor tem impactos ecológicos negativos, e, portanto, métodos baseados em troca de calor podem não ser muito eficientes do ponto de vista energético devido à baixa recuperação de energia (SAKR & LIU, 2014). Neste cenário, tecnologias emergentes como aquecimento ôhmico (OH), ultrassom de alta intensidade, plasma frio e ultra pressão hidrostática têm sido propostas como potenciais alternativas aos métodos clássicos de tratamento térmico, buscando sobretudo a eficiência energética e a redução das alterações na matriz alimentar (SHAO et al., 2021).

Para assegurar a segurança do consumidor, diversos tipos de alimentos são submetidos ao tratamento térmico, especialmente aqueles com alto teor de água livre e disponibilidade de nutrientes para o crescimento microbiano. Neste cenário, frutas e vegetais têm ganhado destaque devido ao seu alto valor nutricional, que se reflete em um importante papel como fonte de energia e de micronutrientes necessários para a manutenção do estado geral de saúde (MOSTAFIDI et al., 2020). A demanda global por frutas e hortaliças tem aumentado nos últimos anos, em decorrência da tendência de consumir alimentos integrais e frescos que podem impactar positivamente a saúde. Frutas e vegetais são ricos em compostos antioxidantes, como carotenoides, compostos fenólicos (principalmente flavonoides) e vitaminas E e C. Muitos desses compostos bioativos são associados ao tratamento de uma variedade de doenças crônicas, incluindo doenças oculares, hipertensão, diabetes tipo 2, depressão, câncer, distúrbios cardiovasculares e psiquiátricos (E. K. SILVA et al., 2020).

2. Material e Métodos

Esta revisão bibliográfica foi conduzida utilizando uma abordagem mista, combinando os métodos de revisão narrativa e revisão sistemática, com o objetivo de investigar as aplicações, vantagens e limitações do aquecimento ôhmico (OH) no processamento de alimentos. A revisão narrativa foi utilizada para contextualizar o tema, fornecendo uma visão ampla sobre as características e os avanços da técnica.

Paralelamente, a revisão sistemática foi conduzida para responder a perguntas específicas e garantir rigor metodológico.

Tabela 1: Estratégias e critérios para a definição da pergunta de pesquisa e busca de artigos sobre aquecimento ôhmico no processamento de alimentos.

Tópico	Descrição
Definição da Pergunta de Pesquisa	A revisão foi orientada pelas seguintes questões: 1. Quais são as principais aplicações do aquecimento ôhmico no processamento de alimentos? 2. Quais são os benefícios do OH em relação aos métodos térmicos tradicionais, como a pasteurização? 3. Quais são os desafios e limitações para a implementação do OH em escala industrial?
Estratégia de Busca	A busca de artigos foi realizada em bases de dados científicas reconhecidas: - PubMed - Web of Science - ScienceDirect - Google Acadêmico - Scielo - Scopus
Termos de Busca Utilizados	Foram utilizados os seguintes termos de busca, combinados com operadores booleanos (AND, OR): "aquecimento ôhmico" (<i>ohmic heating</i>) "processamento de alimentos" (<i>food processing</i>) "qualidade nutricional" (<i>nutritional quality</i>) "segurança alimentar" (<i>food safety</i>) "pasteurização" (<i>pasteurization</i>)

Os critérios de inclusão e exclusão foram definidos para cada abordagem. Na revisão narrativa, foram incluídos estudos sem restrição de data, com foco no contexto histórico e avanços teóricos do OH, além de artigos que explorassem suas aplicações. Na revisão sistemática, foram incluídas publicações em inglês ou português, de 2010 em diante, estudos experimentais ou revisões críticas sobre o uso do OH, e trabalhos que comparasse OH com métodos tradicionais. Foram excluídos estudos fora do escopo alimentar e aqueles com baixa qualidade metodológica.

A revisão sistemática seguiu o checklist PRISMA, com etapas de identificação de estudos, remoção de duplicatas, triagem de títulos e resumos, leitura completa e seleção final dos estudos.

Na análise de dados, foram extraídas informações sobre as aplicações do OH, parâmetros tecnológicos, impacto na qualidade sensorial e nutricional, comparação com métodos tradicionais e desafios industriais.

Os dados foram sintetizados, destacando os benefícios do OH, os avanços acadêmicos, as lacunas industriais e oportunidades futuras.

3. Revisão bibliográfica

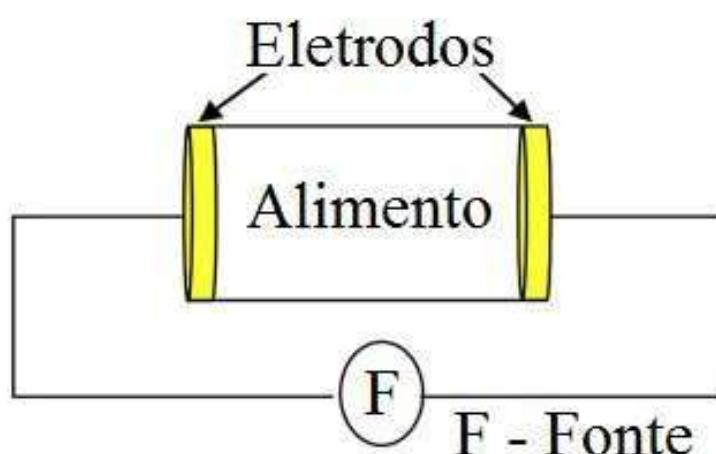
3.1. Aquecimento ôhmico (OH)

O interesse na utilização do aquecimento ôhmico no processamento de alimentos está relacionado a possibilidade da técnica ser aplicada no tratamento térmico (segurança do alimento) e na garantia da qualidade nutricional e sensorial, dado o caráter menos agressivo do OH em relação as técnicas de tratamento térmico tradicionais como a pasteurização (SHAO et al., 2021). A utilização do OH ainda é pouco explorada a nível comercial e industrial, contudo avança ao nível acadêmico, tendo seu uso proposto no pré-aquecimento, branqueamento, pasteurização e esterilização de vegetais, frutas, produtos cárneos e laticínios (KNIRSCH et al., 2010).

O tratamento térmico convencional, via condução e convecção, tem como desvantagem a não uniformidade do comportamento da transferência de calor, *i.e.*, a parte do produto que está em contato com a fonte de calor é aquecida excessivamente, para que então, possa transferir esse calor pelo restante do produto até que se atinja a temperatura ideal do processo na zona mais afastada do trocador de calor (zona fria) (MAKROO et al., 2020). A capacidade de aquecer o alimento de forma rápida e uniforme reduz o tempo de convecção, e, assim, favorece a integridade estrutural dos nutrientes do alimento sem comprometer a capacidade de destruir microrganismos (FERREIRA et al., 2019). A quantidade de calor gerada varia de acordo com a intensidade da corrente elétrica induzida e com a potência e a condutividade elétrica do alimento (HASHEMI & ROOHI, 2019).

O aquecimento ôhmico pode ser realizado em equipamentos de diversas conformações. Todavia, independente do design, há uma estrutura padrão composta de um ou mais pares de eletrodos que transmitirão a corrente ao alimento, um reservatório onde o alimento fica contido e uma fonte geradora de energia elétrica de corrente alternada que alimenta os eletrodos (Figura 1) (FERREIRA et al., 2019; SAKR & LIU, 2014).

Figura 1: Modelo esquemático geral para de um aquecedor ôhmico.



Adaptado de Cappato *et al.* (2018).

Do ponto de vista físico, o OH se baseia no uso da resistividade do alimento a passagem de carga elétrica. Desta forma, quando uma corrente elétrica passa pelo alimento e esse resiste a ela de acordo com suas propriedades intrínsecas, parte da energia de excitação molecular é dissipada na forma de calor pelo efeito Joule. A quantidade de calor removido está diretamente relacionada à tensão aplicada e à condutividade elétrica do produto ou de partes individuais do produto (lei de Ohm) (VARGHESE et al., 2014).

O OH tem a vantagem do aumento rápido e suave da temperatura com base em seu mecanismo de aquecimento, conservando melhor os atributos de qualidade nutricional e sensorial dos alimentos, quando comparado ao tratamento térmico convencional (SHAO et al., 2021).

O aquecimento ôhmico pode ser obtido com corrente contínua ou alternada. No entanto, a corrente alternada (CA) é geralmente usada para evitar efeitos eletroquímicos e eletrolíticos e a formação de produtos de reação indesejáveis. Os sistemas em uso hoje atingem correntes na faixa de centenas de amperes. Os eletrodos produzem densidades de corrente que variam de 0,5 a 20 A/m². A corrente alternada com frequência superior a 20 kHz é utilizada para reduzir as reações de oxidação e contaminação metálica do produto. O uso de energia reduz a frequência de reações eletroquímicas devido ao efeito de campo inverso. Em valores de frequência acima de 20 kHz, a reação de Faraday é suprimida, reduzindo assim a erosão do eletrodo (JAEGER et al., 2016).

O produto a ser aquecido é submetido a um campo elétrico dentro de uma matriz de dois ou mais eletrodos que estão em contato direto com o alimento. O processamento pode ser realizado como um regime descontínuo intermitente ou em um sistema de fluxo contínuo. O fluxo de corrente depende da intensidade do campo elétrico, configuração do eletrodo e condutividade do produto. A tensão de trabalho é geralmente em torno de 400-4000V. Se a distância do eletrodo for de 10 a 50 cm, a intensidade do campo elétrico será de 20 a 400 V/cm.

A taxa de aquecimento alcançada dependerá do desempenho da fonte de alimentação, design do processador e propriedades do produto (condutividade, viscosidade, capacidade de calor específico, etc.) (JAEGER et al., 2016).

Para os processos convencionais, há aquecimento desigual com a formação de altas temperaturas locais (chamados pontos quentes) e/ou baixas temperaturas (chamados pontos frios), dependendo da geometria do produto e do processo, assim é o coeficiente de transferência de calor. No aquecimento ôhmico, a distribuição desigual de diferentes condutividades ou campos elétricos em frações de produtos individuais causa heterogeneidades de pontos quentes e frios, independentemente dos parâmetros de geometria do produto. Em contraste com os métodos convencionais, o aquecimento ôhmico de alimentos particulados complexos pode resultar em pontos frios na fase líquida, mas as partículas aquecem muito mais rápido. Tanto a condutividade quanto a viscosidade do produto podem mudar significativamente durante o processo devido a processos induzidos pela temperatura, como gelatinização de amidos e proteínas, /desnaturação de proteínas e liberação de componentes condutores devido à ruptura de estruturas celulares (SALENGKE & SASTRY, 2007).

A condutividade elétrica é uma propriedade intrínseca do alimento que afeta diretamente a eficiência do aquecimento ôhmico, uma vez que o calor dissipado no produto depende diretamente dela. Além disso, a condutividade depende da temperatura e, portanto, muda durante o processo de aquecimento. Estruturas celulares dissolvidas por íons de liberação de calor, que levam a grandes mudanças na condutividade elétrica dos alimentos, também afetam o processo de aquecimento ôhmico (CASTRO et al., 2003; DARVISHI et al., 2013).

Adicionalmente, a intensidade do aquecimento utilizando tecnologia ôhmica depende da proporção de hidrocoloides como amido, pectina e gelatina e do grau de hidratação da matriz (WANG & SASTRY, 1997).

Segundo Dar et al. (2019), há três faixas de condutividade que os alimentos podem ser classificados:

- $s > 0,05S/m$: Alimentos com boa condutividade: Ovos, sucos de frutas, especiarias, sobremesas lácteas, vinho, hidrocoloides, etc.
- $0,005 < s < 0,05S/m$: Requer força de campo mais alta Alimentos de baixa condutividade: Margarina, geleia, etc.
- $s < 0,005S/m$: Força de campo muito alta Alimentos de baixa condutividade: geralmente espumas, cáusticos, gorduras, etc. são difíceis de processar com aquecimento ôhmico.

3.2. Aplicações em alimentos

A estabilidade dos nutrientes nos alimentos depende das condições do processo. Os compostos aromatizantes decanal, octanal, limoneno, pineno e mirceno foram relatados como sendo degradados em menor grau pelo aquecimento ôhmico do que pelos métodos convencionais de aquecimento (LEIZERSON & SHIMONI, 2005). A tecnologia OH aplicada em várias execuções industriais tem vantagens e desvantagens que precisam ser consideradas dependendo da finalidade e objetivos da utilização de aquecimento. A vantagem é que os alimentos não entram em contato com superfícies quentes, evitando a formação de depósitos indesejados (incrustação) de componentes biológicos, orgânicos ou inorgânicos (JAEGER et al., 2016). Outras vantagens incluem a rápida obtenção da temperatura almejada no processo, aquecimento de líquidos de forma rápida e uniforme, nenhuma transferência de calor residual após o desligamento da corrente, baixo custo de manutenção, alta eficiência de conversão, desligamento instantâneo do sistema, custos de manutenção reduzidos devido à falta de peças móveis, sistema silencioso e ecológico, e risco reduzido de contaminação de superfícies de transferência de calor (SAKR & LIU, 2014).

As desvantagens incluem a falta de informações generalizadas, a necessidade de ajuste de acordo com a condutividade da emulsão, a banda de frequência estreita, o difícil monitoramento e o controle de acoplamento complexo e de distribuição de temperatura e campo elétrico (SAKR & LIU, 2014). Além disso, há poucas plantas de equipamentos com capacidade de utilização a nível industrial.

3.3 Influência do aquecimento ôhmico sobre características sensoriais

Da perspectiva sensorial, pouca literatura avaliou os efeitos da OH na qualidade sensorial de frutas e hortaliças. Durante os processos de OH, especialmente branqueamento e pasteurização, as enzimas em frutas e vegetais são intencionalmente ou inevitavelmente inativadas (SHAO et al., 2021). Todavia, o aquecimento ôhmico vem sendo utilizado em diversos tipos de alimentos, substituindo a pasteurização clássica em bebida de soro de leite com sabor de framboesa, suco de laranja e leite utilizado na fabricação do queijo minas frescal (FERREIRA et al., 2019; FUNCIA et al., 2020; ROCHA et al., 2020). Também na concentração de atomatados (FADAVI et al., 2018), na descontaminação pós-embalagem de salsichas pasteurizadas previamente (INMANEE et al., 2019) e na manufatura de doce de leite (R. SILVA et al., 2020).

A cor é um importante fator relacionado aos atributos sensoriais de aparência, estando relacionada diretamente ao julgamento primário do consumidor. No geral, a aparência da cor está associada a um perfil químico característico, indicando a qualidade dos alimentos, principalmente em frutas e hortaliças. Um dos maiores desafios dos produtos de frutas e vegetais é manter sua cor natural durante o processamento e o armazenamento (SHAO et al., 2021).

A cor das frutas e vegetais depende principalmente dos pigmentos (compostos fenólicos, carotenoides, clorofila, betalaínas, etc.). As mudanças de cor em frutas e vegetais durante o processo de OH resultam de uma variedade de reações complexas, incluindo degradação de pigmentos, escurecimento enzimático e não enzimático (SAXENA et al., 2016). Ao contrário dos processos tradicionais, que geralmente dependem da transferência de calor de uma superfície aquecida, o OH pode gerar calor volumétrico dentro do material e aumentar a temperatura em uma taxa mais rápida, resultando em uma transferência rápida que ajuda a manter a integridade da cor (MAKROO et al., 2020).

Por exemplo, há maior degradação da cor durante o aquecimento de produtos atomatados via tratamento convencional, quando comparado ao aquecimento ôhmico. Alterações eletroquímicas, que ocorrem durante o tratamento térmico ôhmico do suco de tomate, também podem ser responsáveis pela retenção da cor da pasta tratada ôhmicamente (SAXENA et al., 2016).

3.4 Influência do aquecimento ôhmico sobre a atividade enzimática

O aquecimento ôhmico também influencia o comportamento de enzimas importantes na manutenção da cor, textura e sabor de frutas e vegetais, incluindo a polifenoloxidase (PPO), peroxidase (POD), pectina metilesterase (PME) e poligalacturonase (PG). OH pode ativar/amplificar, inativar ou alterar a atividade enzimática. A estabilidade da enzima sob tratamento com OH depende principalmente de suas propriedades intrínsecas, fonte, composição do meio e condições de tratamento (SHAO et al., 2021).

As polifenoloxidasas estão presentes em tecidos animais e vegetais, especialmente em frutas (maçãs, pêssegos, peras, bananas, damascos, frutas vermelhas, mangas, abacates, uvas) e vegetais (batatas, alface, bardana, goiaba, melão, berinjela, cogumelos) (SHAO et al., 2021).

O escurecimento enzimático é um dos efeitos da enzima polifenoloxidase considerados indesejáveis na indústria de alimentos, especialmente ao catalisar a oxidação de compostos fenólicos, produzindo pigmentos escuros em tecidos vegetais lacerados, quando expostos ao ar ambiente. Em células intactas, o escurecimento enzimático não ocorre porque os compostos fenólicos presentes no vacúolo celular são clivados pela enzima armazenada no plastídio. Quando o tecido é danificado por corte ou trauma, a enzima entra em contato com seu substrato e forma um pigmento escuro ao ser exposto ao oxigênio. O tratamento térmico de derivados de frutas e hortaliças tem como função adicional o branqueamento do produto, isso é, a inativação térmica da enzima polifenol oxidase.

Assim como o tratamento tradicional utilizando água quente, o processamento com aquecimento ôhmico também é capaz de branquear alimentos, conforme observado em purês de peras tratados com OH (30 V/cm) (ICIER et al., 2006).

A inativação da peroxidase por aquecimento ôhmico também tem sido estudada em comparação ao aquecimento convencional em temperaturas de 70, 80 e 90°C. Icier; Yildiz; Baysal (2006) observaram que o branqueamento com aquecimento ôhmico usando 30 V/cm inativa a enzima peroxidase em menos tempo do que o branqueamento com água em purê de pera. De forma semelhante, Brochier; Mercali; Marczak (2018) observaram que o OH tem potencial para ser aplicado como uma tecnologia alternativa para inativação enzimática em caldo de cana-de-açúcar sem comprometer a concentração de compostos fenólicos e com alterações mínimas de cor.

4. Conclusão

O aquecimento ôhmico tem amplo potencial de ser adotado como alternativa ao tratamento térmico adicional, especialmente em produtos a base de frutas, contendo alto valor de água livre e textura líquida ou semissólida, fatores que favorecem o emprego do aquecimento ôhmico. Adicionalmente, o aquecimento ôhmico ocasiona menos alterações indesejadas em relação aos tratamentos tradicionais (pasteurização e branqueamento em água). Além disso, o curto tempo de processamento e a alta eficiência energética produziram resultados positivos nas propriedades sensoriais dos produtos processados.

Referências

Brochier, B., Mercali, G. D., & Marczak, L. D. F. (2018). Effect of ohmic heating parameters on peroxidase inactivation, phenolic compounds degradation and color changes of sugarcane juice. *Food and Bioproducts Processing*, 111, 62–71.

Cappato, L. P., Ferreira, M. V. S., Pires, R. P. S., Cavalcanti, R. N., Bisaggio, R. C., Freitas, M. Q., Silva, M. C., & Cruz, A. G. (2018). Whey acerola-flavoured drink submitted ohmic heating processing: Is there an optimal combination of the operational parameters? *Food Chemistry*, 245, 22–28.

Castro, I., Teixeira, J. A., Salengke, S., Sastry, S. K., & Vicente, A. A. (2003). The influence of field strength, sugar and solid content on electrical conductivity of strawberry products. *Journal of Food Process Engineering*, 26(1), 17–29.

Dar, A. H., Shams, R., Rizvi, Q. ul E. H., & Majid, I. (2019). Microwave and ohmic heating of fresh cut fruits and vegetable products. *Fresh-Cut Fruits and Vegetables: Technologies and Mechanisms for Safety Control*, 295–337.

Darvishi, H., Khostaghaza, M. H., & Najafi, G. (2013). Ohmic heating of pomegranate juice: Electrical conductivity and pH change. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 12(2), 101–108.

Fadavi, A., Yousefi, S., Darvishi, H., & Mirsaeedghazi, H. (2018). Comparative study of ohmic vacuum, ohmic, and conventional-vacuum heating methods on the quality of tomato concentrate. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 47, 225–230.

Fellows, P. J. (2018). *Tecnologia do Processamento de Alimentos: Princípios e Prática* (4th ed.). Artmed.
https://books.google.com.br/books/about/Tecnologia_do_Processamento_de_Alimentos.html?id=ZyCADwAAQBAJ&redir_esc=y

Ferreira, M. V. S., Cappato, L. P., Silva, R., Rocha, R. S., Neto, R. P. C., Tavares, M. I. B., Esmerino, E. A., Freitas, M. Q., Bissaggio, R. C., Ranadheera, S., Raices, R. S. L., Silva, M. C., & Cruz, A. G. (2019). Processing raspberry-flavored whey drink using ohmic heating: Physical, thermal and microstructural considerations. *Food Research International*, 123, 20–26.

Funcia, E. S., Gut, J. A. W., & Sastry, S. K. (2020). Effect of Electric Field on Pectinesterase Inactivation During Orange Juice Pasteurization by Ohmic Heating. *Food and Bioprocess Technology*, 13(7), 1206–1214.

Hashemi, S. M. B., & Roohi, R. (2019). Ohmic heating of blended citrus juice: Numerical modeling of process and bacterial inactivation kinetics. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 52, 313–324.

Icier, F., Yildiz, H., & Baysal, T. (2006). Peroxidase inactivation and colour changes during ohmic blanching of pea puree. *Journal of Food Engineering*, 74(3), 424–429.

Inmanee, P., Kamonpatana, P., & Pirak, T. (2019). Ohmic heating effects on *Listeria monocytogenes* inactivation, and chemical, physical, and sensory characteristic alterations for vacuum packaged sausage during post pasteurization. *Lwt*, 108, 183–189.

Jaeger, H., Roth, A., Toepfl, S., Holzhauser, T., Engel, K. H., Knorr, D., Vogel, R. F., Bandick, N., Kulling, S., Heinz, V., & Steinberg, P. (2016). Opinion on the use of ohmic heating for the treatment of foods. *Trends in Food Science and Technology*, 55, 84–97.

Kaur, N., & Singh, A. K. (2016). Ohmic Heating: Concept and Applications—A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(14), 2338–2351.

Knirsch, M. C., Alves dos Santos, C., Martins de Oliveira Soares Vicente, A. A., & Vessoni Penna, T. C. (2010). Ohmic heating - a review. *Trends in Food Science and Technology*, 21(9), 436–441.

Lee, S. J., & Sherbon, J. W. (2002). Chemical changes in bovine milk fat globule membrane caused by heat treatment and homogenization of whole milk. *Journal of Dairy Research*, 69(4), 555–567.

- Leizeron, S., & Shimoni, E. (2005). Stability and sensory shelf life of orange juice pasteurized by continuous ohmic heating. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(10), 4012–4018.
- Liu, G., Carøe, C., Qin, Z., Munk, D. M. E., Crafac, M., Petersen, M. A., & Ahrné, L. (2020). Comparative study on quality of whole milk processed by high hydrostatic pressure or thermal pasteurization treatment. *Lwt*, 127.
- Makroo, H. A., Rastogi, N. K., & Srivastava, B. (2020). Ohmic heating assisted inactivation of enzymes and microorganisms in foods: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 97, 451–465.
- Mostafidi, M., Sanjabi, M. R., Shirkhan, F., & Zahedi, M. T. (2020). A review of recent trends in the development of the microbial safety of fruits and vegetables. *Trends in Food Science and Technology*, 103, 321–332.
- Rocha, R. S., Calvalcanti, R. N., Silva, R., Guimarães, J. T., Balthazar, C. F., Pimentel, T. C., Esmerino, E. A., Freitas, M. Q., Granato, D., Costa, R. G. B., Silva, M. C., & Cruz, A. G. (2020). Consumer acceptance and sensory drivers of liking of Minas Frescal Minas cheese manufactured using milk subjected to ohmic heating: Performance of machine learning methods. *Lwt*, 126.
- Sakr, M., & Liu, S. (2014). A comprehensive review on applications of ohmic heating (OH). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 262–269.
- Salengke, S., & Sastry, S. K. (2007). Models for ohmic heating of solid-liquid mixtures under worst-case heating scenarios. *Journal of Food Engineering*, 83(3), 337–355.
- Saxena, J., Makroo, H. A., & Srivastava, B. (2016). Optimization of time-electric field combination for PPO inactivation in sugarcane juice by ohmic heating and its shelf life assessment. *Lwt*, 71, 329–338.

Shao, L., Zhao, Y., Zou, B., Li, X., & Dai, R. (2021). Ohmic heating in fruit and vegetable processing: Quality characteristics, enzyme inactivation, challenges and prospective. *Trends in Food Science and Technology*, 118, 601–616.

Silva, E. K., Meireles, M. A. A., & Saldaña, M. D. A. (2020). Supercritical carbon dioxide technology: A promising technique for the non-thermal processing of freshly fruit and vegetable juices. *Trends in Food Science and Technology*, 97, 381–390.

Silva, R., Rocha, R. S., Guimarães, J. T., Balthazar, C. F., Hugo Scudino, Ramos, G. L. P. A., Pimentel, T. C., Silva, M. C., Henrique F. Silva, P., Duarte, M. C. K. H., Freitas, M. Q., Cruz, A. G., & Esmerino, E. A. (2020). Dulce de leche submitted to ohmic heating treatment: Consumer sensory profile using preferred attribute elicitation (PAE) and temporal check-all-that-apply (TCATA). *Food Research International*, 134.

Varghese, K. S., Pandey, M. C., Radhakrishna, K., & Bawa, A. S. (2014). Technology, applications and modelling of ohmic heating: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 51(10), 2304–2317.

Wang, W. C., & Sastry, S. K. (1997). Starch Gelatinization in Ohmic Heating. *Journal of Food Engineering*, 34(3), 225–242.