



APLICAÇÃO DE TECNOLOGIAS NÃO TÉRMICAS NA EXTENSÃO DA VIDA ÚTIL DE FRUTAS MINIMAMENTE PROCESSADAS: UMA BREVE REVISÃO

APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS NO TÉRMICAS EN LA EXTENSIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE FRUTAS MÍNIMAMENTE PROCESADAS: UNA BREVE REVISIÓN

APPLICATION OF NON-THERMAL TECHNOLOGIES IN EXTENDING THE SHELF LIFE OF MINIMALLY PROCESSED FRUITS: A BRIEF REVIEW

Apresentação: Comunicação Oral

Maria Sza Amaral Santos Ferreira¹; Anna Santos Costa²; Angelise durigon³ Patrícia Beltrão Lessa Constant⁴; Marcelo Augusto Gutierrez Carnelossi⁵

DOI: <https://doi.org/10.31692/VICIAGRO.0158>

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo realizar uma revisão sobre a aplicação de tecnologias não térmicas na conservação de frutas minimamente processadas, com ênfase nos mecanismos de ação, impactos na qualidade e desafios para utilização em escala industrial. Para isso, foi conduzida uma pesquisa nas bases de dados: web of science, science direct e google acadêmico, de caráter exploratório e descritivo, nas quais foram selecionados artigos científicos relevantes sobre o tema. A metodologia incluiu uma análise temporal, evidenciando o crescimento recente do interesse científico na área. Além disso, foi elaborado um grafo de coocorrência utilizando a biblioteca NetworkX em *Python*, com o objetivo de mapear as conexões entre tecnologias emergentes tais como, alta pressão hidrostática (APH), plasma frio (PF) e campo elétrico pulsado (CEP) e suas principais aplicações, extensão da vida útil, a extração de compostos bioativos e a inativação de patógenos. Os resultados indicaram que a APH é altamente eficaz na inativação de enzimas deteriorantes, como polifenoloxidase e peroxidase, preservando compostos bioativos e atributos sensoriais dos alimentos. A aplicação do PF demonstrou grande potencial na descontaminação microbiana de superfícies, com manutenção da firmeza e da coloração dos frutos. O CEP destacou-se por preservar a textura e ser eficiente como pré-tratamento para processos como secagem e descascamento, com mínima perda de nutrientes. Em comum, essas tecnologias apresentam menor impacto ambiental e maior sustentabilidade em comparação aos métodos térmicos convencionais. Conclui-se que as tecnologias não térmicas representam alternativas viáveis e inovadoras para a conservação de frutas minimamente processadas, reunindo eficácia microbiológica e preservação da qualidade. No entanto, sua consolidação industrial ainda depende de maior padronização dos processos e superação de barreiras tecnológicas e econômicas.

Palavras-Chave: Conservação de alimentos, pós colheita, tecnologia emergente.

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo realizar una revisión sobre la aplicación de tecnologías no térmicas en la conservación de frutas mínimamente procesadas, con énfasis en los mecanismos de acción, impactos en la calidad y desafíos para su uso a escala industrial. Para ello, se llevó a cabo una investigación exploratoria y

¹ Engenharia de alimentos, Universidade Federal de Sergipe, mszaamaral@gmail.com

² Engenharia de alimentos, Universidade Federal de Sergipe, annacosta@academico.ufs.br

³ Engenharia de alimentos, Universidade Federal de Sergipe, angelise@academico.ufs.br

⁴ Engenharia de alimentos, Universidade Federal de Sergipe, pblconstant@academico.ufs.br

⁵ Doutor, Universidade Federal de Sergipe, carnelossi@academico.ufs.br

descriptiva en las bases de datos Web of Science, ScienceDirect y Google Académico, seleccionando artículos científicos relevantes sobre el tema. La metodología incluyó un análisis temporal, evidenciando el crecimiento reciente del interés científico en el área. Además, se elaboró un grafo de coocurrencia utilizando la biblioteca NetworkX en *Python*, con el objetivo de mapear las conexiones entre tecnologías emergentes como la alta presión hidrostática (APH), el plasma frío (PF) y el campo eléctrico pulsado (CEP), y sus principales aplicaciones: extensión de la vida útil, extracción de compuestos bioactivos e inactivación de patógenos. Los resultados indicaron que la APH es altamente eficaz para inactivar enzimas deteriorantes como la polifenoloxidasas y la peroxidasa, preservando compuestos bioactivos y atributos sensoriales. La aplicación del PF demostró gran potencial en la descontaminación microbiana de superficies, manteniendo la firmeza y el color de las frutas. El CEP se destacó por preservar la textura y ser eficiente como pretratamiento para procesos como el secado y el pelado, con una pérdida mínima de nutrientes. En común, estas tecnologías presentan un menor impacto ambiental y mayor sostenibilidad en comparación con los métodos térmicos convencionales. Se concluye que las tecnologías no térmicas representan alternativas viables e innovadoras para la conservación de frutas mínimamente procesadas, combinando eficacia microbiológica y preservación de la calidad. Sin embargo, su consolidación industrial aún depende de una mayor estandarización de los procesos y de la superación de barreras tecnológicas y económicas.

Palabras Clave: Conservación de alimentos, poscosecha, tecnología emergente.

ABSTRACT

This study aimed to conduct a review on the application of non-thermal technologies in the preservation of minimally processed fruits, with emphasis on mechanisms of action, quality impacts, and challenges for industrial-scale implementation. For this purpose, an exploratory and descriptive literature search was carried out in the Web of Science, ScienceDirect, and Google Scholar databases, selecting relevant scientific articles on the topic. The methodology included a temporal analysis, highlighting the recent growth of scientific interest in the area. In addition, a co-occurrence graph was developed using the NetworkX library in *Python* to map the connections among emerging technologies such as high hydrostatic pressure (HHP), cold plasma (CP), and pulsed electric field (PEF), and their main applications, including shelf life extension, bioactive compound extraction, and pathogen inactivation. The results indicated that HHP is highly effective in inactivating spoilage enzymes such as polyphenol oxidase and peroxidase, while preserving bioactive compounds and sensory attributes. CP showed great potential for microbial decontamination of surfaces, maintaining fruit firmness and color. PEF stood out for its ability to preserve texture and serve as an efficient pre-treatment for processes like drying and peeling, with minimal nutrient loss. These technologies share lower environmental impact and greater sustainability compared to conventional thermal methods. It is concluded that non-thermal technologies are viable and innovative alternatives for preserving minimally processed fruits, combining microbiological efficacy with quality preservation. However, their industrial consolidation still depends on further process standardization and overcoming technological and economic barriers.

Keywords: Food preservation, postharvest, emerging technology.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimentos frescos, prontos para o consumo e saudáveis impulsionou o desenvolvimento do setor de frutas minimamente processadas (Rico *et al.*, 2007). Esse segmento, no entanto, enfrenta um desafio significativo, a elevada perecibilidade dos produtos, ocasionada por danos celulares provocados durante o processamento, o que favorece o escurecimento enzimático, a perda de textura, a oxidação de compostos bioativos e o crescimento microbiano (Watada, Ko e Minott, 1996; Olivas e Barbosa-Cánovas, 2005).

Métodos tradicionais de conservação, como os tratamentos térmicos, não são indicados para frutas minimamente processadas, pois comprometem sua integridade e podem descaracterizar o produto (Misra *et al.*, 2017; Xia *et al.*, 2023). Nesse contexto, as tecnologias não térmicas emergem podem ser alternativas promissoras para prolongar a vida útil dos produtos minimamente processados, preservando ao mesmo tempo sua qualidade original da hortaliça fresca (Pereira e Vicente, 2010). Tais tecnologias incluem o uso de alta pressão hidrostática, plasma frio e campo elétrico pulsado, cujos mecanismos de ação variam desde a alteração da permeabilidade da membrana celular até a geração de espécies reativas de oxigênio com efeitos antimicrobianos são exemplos de tratamentos não térmicos que podem ser aplicados a produtos minimamente processados (Cristianini *et al.*, 2023; Baptista *et al.*, 2016).

Além de não utilizarem calor, as tecnologias não térmicas preservam melhor as características sensoriais e nutricionais dos produtos minimamente processados. No entanto, sua eficácia na inativação microbiana e na manutenção da qualidade depende de fatores como o tipo de fruta, o grau de maturação, o nível de processamento e os parâmetros operacionais adotados (Knorr *et al.*, 2011). Diante desse cenário, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão de literatura científica sobre a aplicação de tecnologias não térmicas na conservação e extensão da vida útil de frutos minimamente processados, discutindo os mecanismos de ação, impacto sobre a qualidade do produto e potenciais desafios para sua adoção em escala comercial.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As frutas minimamente processadas apresentam elevada perecibilidade devido aos danos celulares causados durante o corte, descascamento ou fatiamento (Rico *et al.*, 2007). Esses processos provocam a ruptura de estruturas celulares, liberando enzimas como a polifenoloxidase e facilitando o acesso de microrganismos ao interior do tecido vegetal. Como consequência, ocorre o escurecimento enzimático, perda de textura e intensificação da atividade microbiana. Esses fatores reduzem a vida útil do produto e comprometem sua aceitação comercial (Watada, Ko e Minott, 1996). Por isso, o uso de tecnologias emergentes tem sido considerado uma alternativa viável para

prolongar a conservação desses alimentos. (Yudhistira *et al.*, 2023).

Nesse contexto, as tecnologias não térmicas se destacam como estratégias promissoras para a preservação da qualidade de frutas minimamente processadas. Entre as principais técnicas, estão a Alta Pressão Hidrostática (APH), o Plasma Frio (PF) e o Campo Elétrico Pulsado (CEP). Essas tecnologias atuam inativando microrganismos e enzimas sem o uso de calor, o que evita a degradação de nutrientes sensíveis e características sensoriais, como cor, aroma e sabor. Ao contrário dos métodos convencionais, que muitas vezes impactam negativamente na qualidade do alimento, essas tecnologias garantem maior retenção de atributos desejáveis. (Iturratge-García *et al.*, 2022; Mao *et al.*, 2021; Cristianini *et al.*, 2023).

Pesquisas recentes demonstram que técnicas como alta pressão hidrostática (APH), Plasma frio (PF) e campos elétricos pulsados (CEP) preservam melhor os atributos sensoriais, nutricionais e microbiológicos desses produtos, reduzindo perdas pós-colheita (Nonglait *et al.*, 2022). Essas tecnologias são especialmente valiosas por aliar eficiência e sustentabilidade, minimizando o uso de energia e água comparado a processos térmicos (Cristianini *et al.*, 2023). A adoção desses métodos inovadores representa um avanço crucial para a indústria de alimentos, assegurando produtos mais frescos, seguros e alinhados às demandas dos consumidores por alimentos menos processados e mais naturais.

METODOLOGIA

Utilizou-se como metodologia uma pesquisa básica, de caráter exploratório e descritivo, com foco na revisão bibliográfica. A revisão bibliográfica é uma metodologia de pesquisa que envolve a coleta, análise e interpretação de literatura relevante sobre um determinado assunto, sendo crucial para identificar lacunas de conhecimento, evitar duplicidade de estudos e fundamentar teoricamente uma pesquisa (Fernandez, 2019). As bases utilizadas foram web of science, science direct e google acadêmico. A busca foi realizada nas bases de dados [nomes das bases, por exemplo: Scopus, Web of Science, Scielo e PubMed] utilizando os operadores booleanos AND e OR, combinando os seguintes termos-chave em inglês: "*non-thermal technologies*", "*minimally processed fruits*", "*shelf life extension*", "*food preservation*", "*postharvest technologies*". A aplicação desses operadores permitiu uma pesquisa abrangente e direcionada ao tema proposto. A seleção dos artigos foi baseada na temática do trabalho e em publicações em um período de tempo entre 2011 a 2025. Para o gráfico de distribuição de artigos usados no trabalho por ano, a extração dos anos foi realizada a partir das referências coletadas na revisão sistemática, com posterior contagem da frequência de publicações por ano. O gráfico foi desenvolvido em *Python* utilizando a biblioteca *matplotlib*, o que permitiu identificar tendências de crescimento da produção científica

sobre o tema nos últimos anos.

Os critérios de inclusão consideraram a relevância temática dos artigos, exigindo que estes abordassem diretamente as tecnologias emergentes aplicadas a frutas e hortaliças minimamente processadas, com foco específico na utilização dessas tecnologias na indústria de alimentos. A atualidade e originalidade dos artigos também foram levadas em consideração, buscando incluir pesquisas recentes e contribuições originais para o campo.

Por outro lado, os critérios de exclusão foram aplicados para garantir a qualidade e relevância dos artigos selecionados. Foram excluídos artigos que não estivessem diretamente relacionados à temática das tecnologias emergentes utilizadas em frutas e hortaliças. Além disso, foram excluídos artigos que apresentavam baixa qualidade metodológica, identificada a partir de critérios como: ausência de delineamento claro, falta de descrição dos métodos de coleta e análise de dados, e ausência de revisão por pares. Fontes não científicas (como blogs, notícias e websites institucionais sem validação científica), bem como materiais duplicados ou redundantes, também foram descartados. Artigos antigos, que não refletiam os avanços mais recentes na área (publicados antes de 2010), foram excluídos com base no objetivo de manter a atualidade da revisão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a visualização da evolução temporal das publicações sobre a aplicação das tecnologias emergentes não térmicas em alimentos minimamente processados, foi elaborado um gráfico de barras contendo a quantidade de artigos publicados por ano (Figura 1).

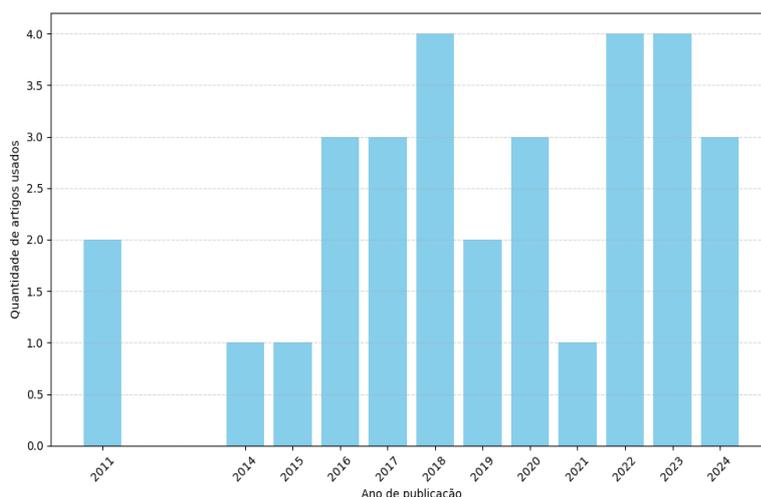


Figura 1 – Distribuição de artigos usados no trabalho por ano

Observa-se uma concentração de publicações a partir de 2015, o que indica uma tendência crescente de interesse pela temática e reforça a atualidade dos dados analisados. A ausência de publicações nos anos de 2012 e 2013 pode ser atribuída ao fato de que, nos critérios de inclusão,

priorizou-se artigos mais recentes ou que abordassem diretamente tecnologias emergentes aplicadas especificamente a alimentos minimamente processados, o que reduziu o número de estudos elegíveis nesse intervalo. Dessa forma, a lacuna não reflete uma falha metodológica, mas sim a escassez de publicações relevantes para os objetivos da presente revisão nesse período.

Com o objetivo de ilustrar as relações entre tecnologias emergentes e suas principais aplicações na indústria de alimentos, foi construído um grafo (Figura 2) de coocorrência utilizando a biblioteca *NetworkX* em *Python*. As conexões foram baseadas na coocorrência entre termos extraídos dos títulos e resumos dos artigos selecionados, agrupando as tecnologias (como plasma frio, alta pressão hidrostática e campo elétrico pulsado) e suas respectivas aplicações (como aumento da vida útil, extração de compostos bioativos e inativação de patógenos). Cada tecnologia foi conectada às aplicações relacionadas por meio de arestas, permitindo a visualização das interações entre os conceitos.

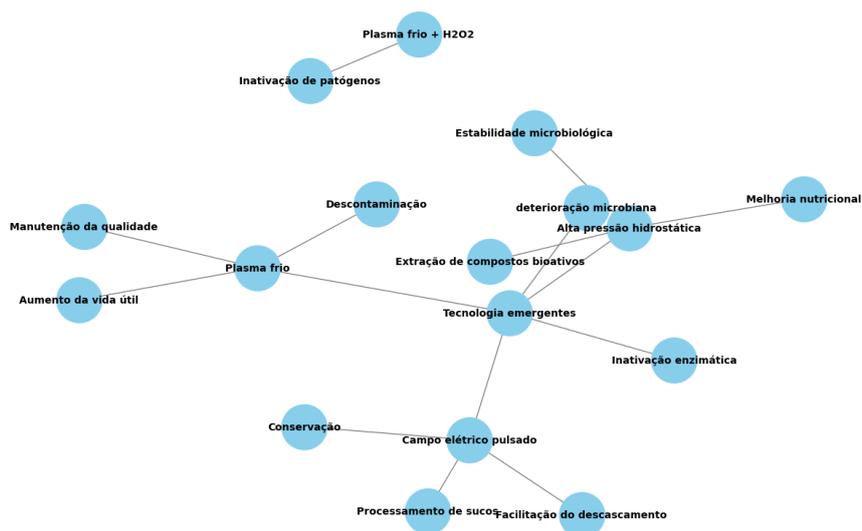


Figura 2 – Grafo de coocorrência a partir dos termos extraídos dos títulos e resumos.

TECNOLOGIAS EMERGENTES NÃO TÉRMICAS

Alta pressão hidrostática (APH)

Ultimamente, as tecnologias de processamento não térmico têm despertado considerável interesse por parte da indústria de alimentos, principalmente devido à sua capacidade de conservar as características sensoriais e nutricionais dos produtos, ao mesmo tempo em que garantem a segurança microbiológica (Özkan-karabacak, İncedayi e Çopur, 2019). Dentre essas tecnologias emergentes, destaca-se o uso da alta pressão hidrostática (Figura 3), que vem sendo amplamente estudada e aplicada em diferentes matrizes alimentares por sua eficácia na inativação de microrganismos patogênicos e deteriorantes, sem provocar alterações térmicas significativas na

estrutura dos alimentos (Huang *et al.*, 2014).

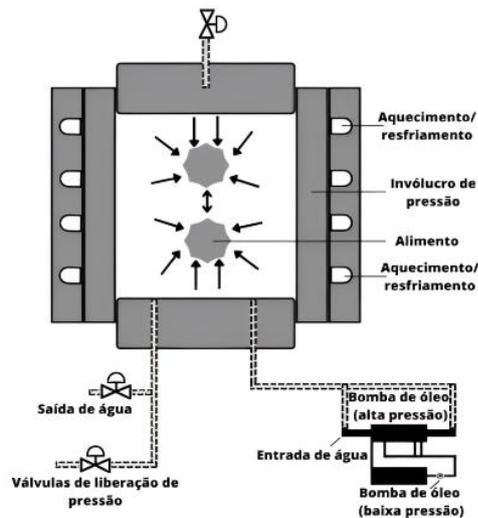


Figura 3 - Modelo esquemático de um sistema de alta pressão hidrostático

Fonte: Adaptado de Chawla *et al.* (2011)

A tecnologia de Alta Pressão Hidrostática (APH), consiste na aplicação de pressões elevadas, geralmente entre 100 MPa e 600 MPa, a alimentos previamente embalados em recipientes flexíveis e hermeticamente selados. Esses produtos são colocados em câmaras especialmente projetadas, preenchidas com um fluido transmissor de pressão — comumente água, mas também podendo ser utilizados outros líquidos como óleo ou etanol — que permite a distribuição uniforme da pressão por todo o alimento. Esse processo promove a inativação de microrganismos patogênicos e deteriorantes, além de enzimas indesejadas, sem a necessidade de tratamentos térmicos, preservando assim as características sensoriais e nutricionais dos alimentos. A APH é considerada uma tecnologia não térmica eficaz para a pasteurização de alimentos, estendendo sua vida útil com mínima alteração de suas propriedades originais (Lee *et al.*, 2018; Cristianini *et al.*, 2023)

A aplicação da alta pressão hidrostática em frutas e hortaliças tem se destacado como uma tecnologia não térmica eficaz para inativar enzimas responsáveis por reações indesejáveis, como o escurecimento enzimático e a degradação de compostos bioativos (Balasubramaniam *et al.*, 2015; Mok *et al.*, 2020, Marciniak *et al.*, 2018). Estudos como o de De Ancos *et al.* (2020) demonstram que pressões na faixa de 400 a 600 MPa podem reduzir significativamente a atividade de enzimas como a polifenoloxidase (PPO) e a peroxidase (POD), sem comprometer a integridade de nutrientes sensíveis, como vitaminas, compostos fenólicos e pigmentos naturais.

Por exemplo, em sucos de laranja e maracujá, a APH preservou os níveis de carotenoides, flavonoides e vitamina C, mantendo as propriedades sensoriais e antioxidantes do produto. Além disso, a APH pode melhorar a extração e a biodisponibilidade de compostos bioativos em frutas e

vegetais, contribuindo para produtos com maior valor nutricional e vida útil prolongada (De Ancos *et al.*, 2020; Zou *et al.*, 2024). Marszalek *et al.* (2017) estruturaram uma revisão, que os autores tentaram resumir o conhecimento atual sobre o impacto das técnicas de alta pressão na estabilidade das antocianinas durante o processamento e armazenamento de produtos de frutas e vegetais, e obtiveram como resultado que a (APH) é uma alternativa viável para preservação de compostos sensíveis nas frutas e hortaliças comparada aos métodos térmicos tradicionais.

Plasma frio (PF)

Nos últimos dez anos, a aplicação do plasma frio, também chamado de *cold plasma* (CP), tem ganhado destaque como uma alternativa não térmica no processamento de alimentos. Essa tecnologia se sobressai por ser atérmica, de baixo custo, multifuncional e ambientalmente sustentável. Um dos principais benefícios é sua eficácia na inativação de microrganismos, incluindo esporos e patógenos, resultado da abundância de espécies reativas de oxigênio presentes no gás de plasma quase neutro (Misra *et al.*, 2011; Pasquali *et al.*, 2015).

O plasma frio é um gás parcialmente ionizado que contém íons, elétrons, fótons ultravioletas e neutrinos reativos, como radicais, moléculas excitadas e em estado fundamental. Esta tecnologia não térmica utiliza gases energéticos e reativos para inativar os microrganismos presentes na superfície dos alimentos, como mostra a Figura 4. Em geral, o plasma frio é empregado para eliminar produtos químicos orgânicos ou bactérias, descontaminar bactérias no ar e limpar embalagens, superfícies de trabalho e alimentos (Misra *et al.*, 2011; Thirumdas *et al.*, 2015; Machala; Pavlovich, 2018).

O tratamento com plasma frio, tem a capacidade de melhorar a qualidade microbiológica do alimento, resultando em melhores propriedades físico-químicas, fisiológicas e funcionais dos alimentos, além de degradar micotoxinas e pesticidas que deterioram as frutas e hortaliças (Bahrami *et al.*, 2016; Bourke *et al.*, 2018; Thirumdas *et al.*, 2016).

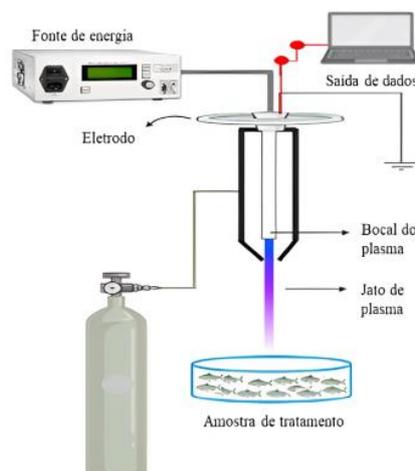


Figura 4 - Esquema do processo por jato de plasma

Fonte: Laroque *et al.* (2022)

Recentemente, diversos estudos têm demonstrado o potencial do plasma frio como tecnologia não térmica para o tratamento pós-colheita de frutas e hortaliças, visando à descontaminação microbiana e à preservação da qualidade (Mao *et al.*, 2021). Por exemplo, Jia *et al.* (2022) observaram que o tratamento com plasma frio atmosférico em tomates pós-colheita reduziu significativamente a degradação da clorofila, mantendo a qualidade durante o armazenamento. Em maçãs, o uso de plasma frio preservou a firmeza e a coloração das fatias durante o armazenamento, indicando sua eficácia na manutenção da qualidade sensorial. Além disso, estudos demonstraram que o plasma frio é eficaz na inativação de microrganismos patogênicos em diversos produtos hortícolas, como morangos (Li *et al.*, 2019), alface (Tan e Karwe, 2021), maçãs (Song e Fan, 2020) e tomates (Fan, Vinyard e Song, 2022), sem comprometer significativamente suas características sensoriais. Esses resultados reforçam o potencial do plasma frio como uma alternativa sustentável e eficaz para melhorar a segurança e a qualidade de frutas e hortaliças frescas (Singh e Thakur, 2024).

Campo elétrico pulsado (CEP)

O campo elétrico pulsado (CEP) é um método de processamento de alimentos não térmico em crescimento, readaptado e reutilizado. Em comparação com o processamento térmico tradicional, o CEP oferece algumas vantagens, como baixo consumo de energia, economia de tempo e potencial como método de processamento mínimo. Além disso, os alimentos tratados com CEP conseguem manter seu valor nutricional original, sabor, cor, gosto e textura, assim, conservando compostos mais sensíveis, e sendo útil para produtos minimamente processados (Morales-De la Peña *et al.*, 2021).

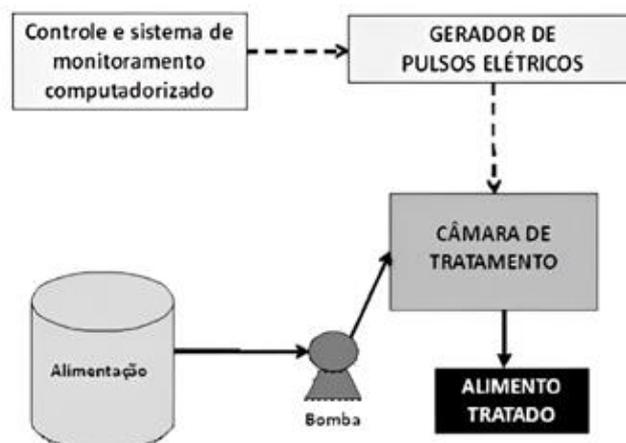


Figura 5 - Etapas envolvidas na aplicação de pulsos elétricos em alimentos.

Fonte: Cristianni *et al.* (2023)

Conforme ilustrado na Figura 5, o CEP envolve a aplicação de pulsos em uma intensidade de campo elétrico entre os eletrodos, que podem ser classificadas como baixas, moderadas e altas. Esses pulsos são percorridos através dos alimentos, mas sem os aquecer, com o objetivo principal de inativar as enzimas e destruir microrganismos. O CEP também possui a capacidade de promover uma transferência aprimorada de calor e massa, tornando-o uma opção viável para o pré-tratamento de alimentos antes da etapa de preservação, seja ela congelamento, aquecimento ou secagem (Zhang *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2020). Entre as tecnologias emergentes não térmicas, o CEP é uma das abordagens mais inovadoras de processamento para melhorar a qualidade dos alimentos processados (Zhang *et al.*, 2022).

Estudos recentes demonstram que o tratamento com CEP pode facilitar o processo de descascamento de tomates e kiwis, reduzindo significativamente a força necessária para a remoção da casca e preservando melhor as características químicas e físicas dos frutos em comparação com métodos tradicionais como o branqueamento em água quente e o uso de soluções alcalinas (Giancaterino e Jaeger, 2023). Além disso, o CEP tem sido utilizado como pré-tratamento antes da secagem de frutas, como damascos, resultando em melhorias na capacidade antioxidante e no perfil de metabólitos dos produtos secos (Liu *et al.*, 2024).

Em outro estudo realizado por Rosenzweig *et al.* (2023), a aplicação de CEP em espinafre apresentou que exposições em microsegundos podem ser usadas em vegetais folhosos até o ponto de inativação antes que os consumidores percebam quaisquer alterações, tornando a eletroporação reversível um tratamento viável para produtos destinados ao consumidor.

MECANISMOS DE AÇÃO SOBRE MICRORGANISMOS E ENZIMAS DETERIORANTES

As tecnologias não térmicas, como o campo elétrico pulsado (CEP), o plasma frio (PF) e a alta pressão hidrostática (APH), têm se destacado no processamento de frutas e hortaliças minimamente processadas devido à sua eficácia na inativação de microrganismos e enzimas deteriorantes, preservando as qualidades sensoriais e nutricionais dos alimentos (Ribeiro *et al.*, 2022).

Campo elétrico pulsado (CEP)

O CEP atua por meio da eletroporação, onde pulsos elétricos de alta intensidade causam a formação de poros nas membranas celulares de microrganismos e células vegetais, esse processo

leva à perda de integridade celular e consequente morte microbiana (Zhang *et al.*, 2022; Bocker e Silva, 2022). Os pulsos de alta voltagem causam a eletropermeabilização das membranas de bactérias, fungos, leveduras e outros micróbios, desencadeando diversos efeitos. Esses incluem desde transferência de massa (como exsudação de água e difusão de compostos intracelulares) até a desestabilização de funções celulares, lise e, por fim, morte celular (Ashrafudoulla *et al.*, 2023; Ghoshal, 2023).

Essa tecnologia, tem um mecanismo de ação eficaz na inativação de enzimas como a polifenoloxidase (PPO) e a peroxidase (POD), responsáveis pelo escurecimento e degradação de frutas e hortaliças. Estudos recentes destacam que o CEP mantém as propriedades funcionais e sensoriais dos sucos de frutas e vegetais, preservando compostos bioativos como fenólicos e vitaminas, ao mesmo tempo em que assegura a estabilidade microbiológica e enzimática dos produtos (Brito e Silva, 2024).

Plasma Frio (PF)

O (PF) utiliza gases ionizados à temperatura ambiente para gerar espécies reativas de oxigênio e nitrogênio, que interagem com microrganismos e enzimas. Essas espécies reativas causam danos às membranas celulares, proteínas e material genético dos microrganismos, levando à sua inativação, a eficácia do (PF) depende de fatores como o tipo de gás utilizado, a umidade relativa e o tempo de exposição (Muhammad *et al.*, 2018; Pankaj *et al.*, 2018).

A inativação microbiana por meio do tratamento com plasma frio tem sido avaliada com sucesso em diferentes matrizes alimentares, incluindo maçãs (Bhide *et al.*, 2017), peras (Wang *et al.*, 2012), mirtilos (Dong e Yang, 2019), morangos (Bogdanov *et al.*, 2018), uvas (Moon *et al.*, 2016), melão em pedaços (Tappi *et al.*, 2019), manga (Perni *et al.*, 2008) e pitaia (Li *et al.*, 2019). Os resultados demonstram eficácia na eliminação de patógenos humanos comuns, como *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, *Listeria spp.*, além de micro-organismos contaminantes presentes naturalmente, como leveduras e bolores.

Alta pressão hidrostática (APH)

A tecnologia de alta pressão hidrostática (APH) tem se consolidado como uma alternativa eficaz e não térmica para a preservação de frutas e hortaliças minimamente processadas, com destaque para sua capacidade de inativar microrganismos e enzimas deteriorantes sem comprometer os atributos sensoriais e nutricionais dos alimentos. Estudos recentes demonstram que a APH, aplicada em faixas de 300 a 600 MPa, é capaz de reduzir significativamente a carga microbiana, atuando contra patógenos e microorganismos deteriorantes, ao mesmo tempo em que mantém

compostos bioativos e vitaminas sensíveis ao calor (Ravichandran *et al.*, 2023; Waghmare, 2024).

Em frutas como maçã, melão e pera, a aplicação de 550 MPa por 3 minutos resultou em uma melhoria na estabilidade microbiológica e no prolongamento da vida útil do produto, mesmo que a completa inativação de enzimas como a polifenoloxidase (PPO) não tenha sido totalmente alcançada (Lopes *et al.*, 2024). Além dos efeitos antimicrobianos, a APH também exerce impacto sobre as enzimas endógenas responsáveis por alterações indesejadas, como escurecimento e perda de textura (Terefe, Buckow e Versteeg, 2014).

EFEITOS SOBRE CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E SENSORIAIS

Alta pressão hidrostática

A aplicação da alta pressão hidrostática (APH) tem demonstrado efeitos significativos nas características físico-químicas e sensoriais de frutas e hortaliças minimamente processadas, preservando a qualidade e prolongando a vida útil dos produtos (Ravichandran *et al.*, 2023). Estudos recentes destacam que a APH pode manter ou até melhorar atributos sensoriais, como cor, textura e sabor, em comparação com métodos térmicos tradicionais. Por exemplo, em purê de maracujá amarelo, a APH (600 MPa por 5 minutos) preservou melhor a cor e os compostos aromáticos, resultando em maior aceitação sensorial pelos consumidores em relação ao tratamento térmico convencional (Niu *et al.*, 2023). No estudo realizado por Lopes *et al.* (2024) observaram que o tratamento por APH em melões minimamente processados reduziu 4 unidades logarítmicas tanto de mesófilos aeróbios totais quanto de leveduras e bolores.

Campo elétrico pulsado (CEP)

No estudo conduzido por Wang *et al.* (2023), os resultados indicaram que o tratamento por campo elétrico pulsado (CEP) teve uma influência significativa sobre a textura de frutas e hortaliças minimamente processadas, atuando de forma menos agressiva em comparação aos tratamentos térmicos convencionais. Os autores observaram que as cenouras submetidas ao CEP apresentaram menor degradação dos tecidos, o que resultou na preservação da firmeza e na redução da perda de integridade celular, fatores diretamente relacionados à manutenção da textura do produto. Em contraste, os tratamentos térmicos promoveram aumento da diferença total de cor (ΔE), redução da força de corte e maior dano celular. Dessa forma, o CEP se mostra uma alternativa promissora para a preservação das características sensoriais, especialmente a textura, em vegetais minimamente processados.

Plasma frio (PF)

No estudo de Mao *et al.* (2021), observou-se que, de modo geral, o plasma frio preserva a firmeza de produtos como morangos, maçãs, melões e tomates-cereja, mantendo suas características texturais próximas às dos produtos não tratados. Entretanto, em frutas mais sensíveis, como mirtilos, foram relatadas reduções na firmeza, atribuídas ao dano mecânico causado por fluxos de ar intensos e ao aumento de temperatura durante o tratamento. Além disso, fatores como a composição da atmosfera durante o processamento influenciam os resultados; por exemplo, ambientes ricos em oxigênio demonstraram melhor retenção de firmeza em comparação com atmosferas ricas em nitrogênio.

Estudos recentes têm apresentado resultados promissores para o setor alimentício. A Tabela 1 apresenta exemplos desses estudos, nos quais frutas minimamente processadas, ao serem submetidas a tecnologias emergentes não térmicas, demonstraram um aumento significativo na concentração de antioxidantes, evidenciando esse como o principal benefício dessas tecnologias.

Tabela 1- Estudos recentes da aplicação de tecnologias emergentes não térmicas em frutas e hortaliças minimamente processadas

Tecnologia não térmica	Fruta/hortaliça	Resultado obtido	Referência
Alta pressão hidrostática	Maça	Aumento de 75% nos flavonóis totais, 29% nos ácidos hidroxicinâmicos, 58% nos flavan-3-óis, 63% nos dihidrocalconas e 54% nos compostos fenólicos totais na maça tratada com a tecnologia.	Fernández-Jalão, Sánchez-Moreno e De Ancos, (2019)
Alta pressão hidrostática	Manga	Aumento no conteúdo de vitamina C, compostos fenólicos totais, flavonoides e carotenoides, além de maior atividade antioxidante.	Pan <i>et al.</i> (2021)
Alta pressão hidrostática	Abacaxi	O estudo avaliou o impacto do processamento por alta pressão (HPP) em abacaxis minimamente processados e concluiu que o tratamento a 300 MPa por 10 minutos preservou significativamente a firmeza, a cor, os teores de flavonoides, polifenóis totais e vitamina C, além de manter melhor qualidade sensorial e microbiológica ao longo de 16 dias de refrigeração. Em	Kubdukulangara Pulissey <i>et al.</i> (2021)

		comparação, os abacaxis apenas minimamente processados apresentaram degradação acentuada desses parâmetros	
Alta pressão hidrostática	Abobora	O tratamento a 400 MPa por 5 minutos foi o mais eficaz na preservação da qualidade de abóboras minimamente processadas, inativando enzimas, mantendo a firmeza e promovendo aumento da atividade antioxidante durante 2 meses de refrigeração.	Paciulli <i>et al.</i> (2019)
Campo elétrico pulsado	Cenoura	O estudo avaliou o efeito do campo elétrico pulsado (PEF) na atividade e termoestabilidade da enzima ácido ascórbico oxidase (AAO) em purê de cenoura minimamente processado. Observou-se que, em energias de até 400 kJ/kg, os parâmetros cinéticos da enzima pouco se alteraram, mas acima de 500 kJ/kg houve mudanças significativas. Além disso, o tratamento com PEF reduziu a estabilidade térmica da AAO, tornando-a mais suscetível à inativação por calor.	Leong e oey, (2014)
Campo elétrico pulsado	Mirtilos	O tratamento com campo elétrico pulsado (PEF) combinado com ácido peracético reduziu até 3 log de <i>E. coli</i> e <i>Listeria</i> em mirtilos minimamente processados, sem alterar cor ou aparência. Houve leve amolecimento, mas aumento de 10% nos antocianinas e 25% nos compostos fenólicos, indicando melhoria na segurança e valor nutricional da fruta.	Jin, Yu e Gurtler, (2017)

Plasma frio	Diversas	O uso de plasma frio mostrou-se eficaz na descontaminação e extensão da vida útil de frutas e hortaliças frescas, sem comprometer suas características sensoriais e nutricionais.	Pathare <i>et al.</i> (2023)
-------------	----------	---	------------------------------

CONCLUSÕES

As tecnologias emergentes não térmicas, como a Alta Pressão Hidrostática (APH), o Plasma Frio (PF) e os Campos Elétricos Pulsados (CEP), têm se mostrado promissoras na conservação de frutas e hortaliças minimamente processadas. Essas abordagens promovem a inativação microbiana e enzimática sem comprometer a qualidade sensorial ou o valor nutricional dos alimentos. Além disso, contribuem diretamente para a preservação de compostos bioativos, como flavonoides, vitamina C, polifenóis e carotenoides. Por serem sustentáveis e menos agressivas que os métodos térmicos tradicionais, essas tecnologias representam alternativas eficazes para garantir a segurança alimentar e prolongar a vida útil dos produtos.

REFERÊNCIAS

- ASHRAFUDOULLA, M., ULRICH, M. S., TOUSHIK, S. H., NAHAR, S., ROY, P. K., MIZAN, F. R., HA, S. D. Challenges and opportunities of non-conventional technologies concerning food safety. **World's Poultry Science Journal**, v. 79, n. 1, p. 3-26, 2023.
- BAHRAMI, N., BAYLISS, D., CHOPE, G., PENSON, S., PEREHINEC, T., FISK, I. D. Cold plasma: A new technology to modify wheat flour functionality. **Food Chemistry**, v. 202, p. 247-253, 2016.
- BALASUBRAMANIAM, V. M.; MARTINEZ-MONTEAGUDO, S. I.; GUPTA, R. Principles and application of high pressurebased technologies in the food industry. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 6, p. 435-462, 2015.
- BAPTISTA, I.; ROCHA, S. M.; CUNHA, A.; SARAIVA, J. A.; ALMEIDA, A. Inactivation of *Staphylococcus aureus* by high pressure processing: An overview. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 36, p. 128-149, 2016.
- BHIDE, S., SALVI, D., SCHAFFNER, D. W., KARWE, M. V. Effect of surface roughness in model and fresh fruit systems on microbial inactivation efficacy of cold atmospheric pressure plasma. **Journal of food protection**, v. 80, n. 8, p. 1337-1346, 2017.
- BOCKER, R; SILVA, E. K. Innovative technologies for manufacturing plant-based non-dairy alternative milk and their impact on nutritional, sensory and safety aspects. **Future Foods**, v. 5, p. 100098, 2022.

BOGDANOV, T., TSONEV, I., MARINOVA, P., BENOVA, E., RUSANOV, K., RUSANOVA, M., KRČMA, F. Microwave plasma torch generated in argon for small berries surface treatment. **Applied Sciences**, v. 8, n. 10, p. 1870, 2018.

BOURKE, P.; ZIUZINA, D.; BOEHM, D.; CULLEN, P. J.; KEENER, K. The potential of cold plasma for safe and sustainable food production. **Trends in Biotechnology**, v. 36, n. 6, p. 615-626, 2018.

BRITO, I. P. C; SILVA, E. K. Pulsed electric field technology in vegetable and fruit juice processing: A review. **Food Research International**, p. 114207, 2024.

CHAWLA, R.; PATIL, G. R.; SINGH, A. K. High hydrostatic pressure technology in dairy processing: A review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 48, p. 260-268, 2011.

CRISTIANINI, M.; CRUZ, A. G. D.; PRUDÊNCIO, E. S.; ESMERINO, E. A.; REODRIGUES, S.; PIMENTEL, T. C. **Tecnologias emergentes no processamento de alimentos**. 1ed. São Paulo: Blucher, 2023.

DE ANCOS, B., RODRIGO, M. J., SÁNCHEZ-MORENO, C., CANO, M. P., ZACARÍAS, L. Effect of high-pressure processing applied as pretreatment on carotenoids, flavonoids and vitamin C in juice of the sweet oranges' Navel'and the red-fleshed'Cara Cara'. **Food Research International**, v. 132, p. 109105, 2020.

DONG, X. Y; YANG, Y. L. A novel approach to enhance blueberry quality during storage using cold plasma at atmospheric air pressure. **Food and Bioprocess Technology**, v. 12, n. 8, p. 1409-1421, 2019.

FAN, X; VINYARD, B. T.; SONG, Y. Cold plasma-activated hydrogen peroxide aerosols inactivate *Salmonella Typhimurium* and *Listeria innocua* on smooth surfaces and stem scars of tomatoes: Modeling effects of hydrogen peroxide concentration, treatment time and dwell time. **Food Control**, v. 141, p. 109153, 2022.

FERNANDEZ, K. V. Critically reviewing literature: A tutorial for new researchers. **Australasian Marketing Journal**, v. 27, n. 3, p. 187-196, 2019.

FERNÁNDEZ-JALAO, I; SÁNCHEZ-MORENO, C; DE ANCOS, B. Effect of high-pressure processing on flavonoids, hydroxycinnamic acids, dihydrochalcones and antioxidant activity of apple 'Golden Delicious' from different geographical origin. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 51, p. 20-31, 2019.

GHOSHAL, G. Comprehensive review on pulsed electric field in food preservation: Gaps in current studies for potential future research. **Heliyon**, v. 9, n. 6, 2023.

GIANCATERINO, M; JAEGER, H. Impact of pulsed electric fields (PEF) treatment on the peeling ability of tomatoes and kiwi fruits. **Frontiers in Food Science and Technology**, v. 3, p. 1152111, 2023.

HUANG, H. W.; LUNG, H. M.; YANG, B. B.; WANG, C. Y. Responses of microorganisms to high hydrostatic pressure processing. **Food Control**, v. 40, p. 250-259, 2014.

ITURRALDE-GARCÍA, R. D., CINCO-MOROYOQUI, F. J., MARTÍNEZ-CRUZ, O., RUIZ-CRUZ, S., WONG-CORRAL, F. J., BORBOA-FLORES, J., DEL-TORO-SÁNCHEZ, C. L. Emerging technologies for prolonging fresh-cut fruits' quality and safety during storage. **Horticulturae**, v. 8, n. 8, p. 731, 2022.

JIA, S., ZHANG, N., JI, H., ZHANG, X., DONG, C., YU, J., LIANG, L. Effects of atmospheric cold plasma treatment on the storage quality and chlorophyll metabolism of postharvest tomato. **Foods**, v. 11, n. 24, p. 4088, 2022.

JIN, T. Z.; YU, Y; GURTLER, J. B. Effects of pulsed electric field processing on microbial survival, quality change and nutritional characteristics of blueberries. **Lwt**, v. 77, p. 517-524, 2017.

LAROQUE, D. A.; SEÓ, S. T.; VALENCIA, G. A.; LAURINDO, J. B.; CARCIOFI, B. A. M. Cold plasma in food processing: Design, mechanisms, and application. **Journal of Food Engineering**, v. 312, 110748, 2022.

LEE, H.; SHAHBAZ, H. M.; HA, N.; KIM, J. U.; LEE, S. J.; PARK, J. Development of ginseng powder using high hydrostatic pressure treatment combined with UV-TiO₂ photocatalysis. **Journal of Ginseng Research**, v. 44, n. 1, p. 154-160, 2020.

LEONG, S. Y; OEY, I. Effect of pulsed electric field treatment on enzyme kinetics and thermostability of endogenous ascorbic acid oxidase in carrots (*Daucus carota* cv. Nantes). **Food Chemistry**, v. 146, p. 538-547, 2014.

LI, M., LI, X., HAN, C., JI, N., JIN, P., ZHENG, Y. Physiological and metabolomic analysis of cold plasma treated fresh-cut strawberries. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 67, n. 14, p. 4043-4053, 2019.

LIU, Y., OEY, I., LEONG, S. Y., KAM, R., KANTONO, K., HAMID, N. Pulsed Electric Field Pretreatments Affect the Metabolite Profile and Antioxidant Activities of Freeze- and Air- Dried New Zealand Apricots. **Foods**, v. 13, n. 11, p. 1764, 2024.

LOPES, A. C., QUEIRÓS, R. P., INÁCIO, R. S., PINTO, C. A., CASAL, S., DELGADILLO, I., SARAIVA, J. A. High-pressure processing effects on microbiological stability, physicochemical properties, and volatile profile of a fruit salad. **Foods**, v. 13, n. 9, p. 1304, 2024.

MACHALA, Z.; PAVLOVICH, M. J. A new phase in applied biology. **Trends in Biotechnology**, v. 36, n. 6, p. 577-578, 2018.

MAO, L., MHASKE, P., ZING, X., KASAPIS, S., MAJZOBI, M., FARAHNAKY, A. Cold plasma: Microbial inactivation and effects on quality attributes of fresh and minimally processed fruits and Ready-To-Eat vegetables. **Trends in Food Science & Technology**, v. 116, p. 146-175, 2021.

MARCINIAK, A.; SUWAL, S.; NADERI, N.; POULIOT, Y.; DOYEN, A. Enhancing enzymatic hydrolysis of food proteins and production of bioactive peptides using high hydrostatic pressure technology. **Trends in Food Science & Technology**, v. 80, p. 187-198, 2018.

MARSZAŁEK, K., WOŹNIAK, Ł., KRUSZEWSKI, B., SKĄPSKA, S. The effect of high pressure techniques on the stability of anthocyanins in fruit and vegetables. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 18, n. 2, p. 277, 2017.

- MISRA, N. N., KOUBAA, M., ROOHINEJAD, S., JULIANO, P., ALPAS, H., INÁCIO, R. S., BARBA, F. J. Landmarks in the historical development of twenty first century food processing technologies. **Food Research International**, v. 97, p. 318-339, 2017.
- MISRA, N. N.; TIWARI, B. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S.; CULLEN, P. J. Nonthermal plasma inactivation of food-borne pathogens. **Food Engineering Reviews**, v. 3, p. 159-170, 2011.
- MOK, I. K.; NGUYEN, T. T. H.; KIM, D. H.; LEE, J. W.; LIM, S.; JUNG, H. Y. Enhancement of neuroprotection, antioxidant capacity, and water-solubility of crocins by transglucosylation using dextransucrase under high hydrostatic pressure. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 140, p. 109630, 2020.
- MOON, A. Y., NOH, S., MOON, S. Y., YOU, S. Feasibility study of atmospheric-pressure plasma treated air gas package for grape's shelf-life improvement. **Current Applied Physics**, v. 16, n. 4, p. 440-445, 2016.
- MORALES-DE LA PEÑA, M.; RÁBAGO-PANDURO, L. M.; SOLIVA-FORTUNY, R.; MARTÍN-BELLOSO, O.; WELTI-CHANES, J. Pulsed electric fields technology for healthy food products, **Food Engineering Reviews**, v. 13, n. 3, p. 509-523, 2021.
- MUHAMMAD, A. I., LIAO, X., CULLEN, P. J., LIU, D., XIANG, Q., WANG, J., DING, T. Effects of nonthermal plasma technology on functional food components. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, n. 5, p. 1379-1394, 2018.
- NIU, H., YUAN, L., ZHOU, H., YUN, Y., LI, J., TIAN, J., ZHOU, L. Comparison of the effects of high pressure processing, pasteurization and high temperature short time on the physicochemical attributes, nutritional quality, aroma profile and sensory characteristics of passion fruit purée. **Foods**, v. 11, n. 5, p. 632, 2022.
- NONGLAIT, D. L., CHUKKAN, S. M., ARYA, S. S., BHAT, M. S., WAGHMARE, R. Emerging non-thermal technologies for enhanced quality and safety of fruit juices. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 57, n. 10, p. 6368-6377, 2022.
- OLIVAS, G. I.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Edible coatings for fresh-cut fruits. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 45, n. 7-8, p. 657-670, 2005.
- ÖZKAN-KARABACAK, A; İNCEDAYI, B; ÇOPUR, Ö. U. Preservation of beverage nutrients by high hydrostatic pressure. In: *Preservatives and Preservation Approaches in Beverages*. **Academic Press**, 2019. p. 309-337.
- PAN, X., WU, J., ZHANG, W., LIU, J., YANG, X., LIAO, X., LAO, F. Effects of sugar matrices on the release of key aroma compounds in fresh and high hydrostatic pressure processed Tainong mango juices. **Food chemistry**, v. 338, p. 128117, 2021.
- PANKAJ, S. K.; WAN, Z; KEENER, K. M. Effects of cold plasma on food quality: A review. **Foods**, v. 7, n. 1, p. 4, 2018.
- PASQUALI, F.; STRATAKOS, A. C.; KOIDIS, A.; BERARDINELLI, A.; CEVOLI, C.; RAGNI, L.; MANCUSI, R.; MANFREDA, G.; TREVISANI, M. Atmospheric cold plasma process for vegetable leaf decontamination: A feasibility study on radicchio (red chicory, *Cichorium intybus*

L.). **Food Control**, v. 60, p. 552-559, 2016.

PATHARE, P. B., CALEB, O. J., PRASATH, V. A., GARUD, S. R. Application of cold plasma for fresh produce quality and shelf-life extension. In: Postharvest management of fresh produce. **Academic Press**, 2023. p. 165-194.

PEREIRA, R. N.; VICENTE, A. A. Environmental impact of novel thermal and non-thermal technologies in food processing. **Food Research International**, v. 43, n. 7, p. 1936-1943, 2010.

PERNI, S; SHAMA, G; KONG, M. G. Cold atmospheric plasma disinfection of cut fruit surfaces contaminated with migrating microorganisms. **Journal of food protection**, v. 71, n. 8, p. 1619-1625, 2008.

RAVICHANDRAN, C., JAYACHANDRAN, L. E., KOTHAKOTA, A., PANDISELVAM, R., BALASUBRAMANIAM, V. M. Influence of high pressure pasteurization on nutritional, functional and rheological characteristics of fruit and vegetable juices and purees-an updated review. **Food Control**, v. 146, p. 109516, 2023.

RIBEIRO, N. G.; XAVIER-SANTOS, D.; CAMPELO, P. H.; GUIMARÃES, J. T.; PIMENTEL, T. C.; DUARTE, M. C. K.; CRUZ, A. G. Dairy foods and novel thermal and non-thermal processing: A bibliometric analysis. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 76, p. 102934, 2022.

RICO, D., MARTIN-DIANA, A. B., BARAT, J. M., BARRY-RYAN, C. Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 18, n. 7, p. 373-386, 2007.

ROSENZWEIG, Z., MARTIN, A., HACKETT, C., GARCIA, J., THOMPSON, G. L. Threshold microsecond pulsed electric field exposures for change in spinach quality. **ACS omega**, v. 8, n. 22, p. 19833-19842, 2023.

SINGH, S. P; THAKUR, R. Postharvest applications of cold plasma treatment for improving food safety and sustainability outcomes for fresh horticultural produce. Postharvest **Biology and Technology**, v. 209, p. 112694, 2024.

SONG, Y; FAN, X. Cold plasma enhances the efficacy of aerosolized hydrogen peroxide in reducing populations of *Salmonella Typhimurium* and *Listeria innocua* on grape tomatoes, apples, cantaloupe and romaine lettuce. **Food Microbiology**, v. 87, p. 103391, 2020.

TAN, J; KARWE, M. V. Inactivation of *Enterobacter aerogenes* on the surfaces of fresh-cut purple lettuce, kale, and baby spinach leaves using plasma activated mist (PAM). **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 74, p. 102868, 2021.

TAPPI, S., RAGNI, L., TYLEWICZ, U., ROMANI, S., RAMAZZINA, R., ROCCULI, P. Browning response of fresh-cut apples of different cultivars to cold gas plasma treatment. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 53, p. 56-62, 2019.

TEREFE, N. S; BUCKOW, R; VERSTEEG, C. Quality-related enzymes in fruit and vegetable products: effects of novel food processing technologies, part 1: high-pressure processing. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 54, n. 1, p. 24-63, 2014.

THIRUMDAS, R.; SARAGAPANI, C.; AJINKYA, M. T.; DESHMUKH, R. R.; ANNAPURE, U. S. Influence of low pressure cold plasma on cooking and textural properties of brown rice. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 37, p. 53-60, 2016.

WAGHMARE, R. High pressure processing of fruit beverages: A recent trend. **Food and Humanity**, v. 2, p. 100232, 2024.

WANG, L., LI, Z., LIU, D., FAN, J. Effect of heat and pulsed electric field treatment on the physicochemical and nutritional properties of carrots. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 103, n. 3, p. 1514-1521, 2023.

WANG, L.; BOUSSETTA, N.; LEOVKA, N.; VOROBIEV, E. Cell disintegration of apple peels induced by pulsed electric field and efficiency of bio-compound extraction. **Food and Bioprocess Processing**, v. 122, p. 13-21, 2020.

WANG, R. X., NIAN, W. F., WU, H. Y., FENG, H. Q., ZHANG, K., ZHANG, J., FANG, J. Atmospheric-pressure cold plasma treatment of contaminated fresh fruit and vegetable slices: Inactivation and physicochemical properties evaluation. **The European Physical Journal D**, v. 66, p. 1-7, 2012.

WATADA, A. E., KO, N. P., MINOTT, D. A. (1996). Factors affecting quality of fresh-cut horticultural products. **Postharvest Biology and Technology**, v. 9, n. 2, p. 115-125, 1996.

XIA, Q., LIU, C., CAO, Y., ZHAO, Y., LU, S., WU, D., GUAN, R. Improving quality of sea buckthorn juice by high-pressure processing. **Lwt**, v. 185, p. 115149, 2023.

YUDHISTIRA, B., PUNTHI, F., GAVAHIAN, M., CHANG, C. K., HAZEENA, S. H., HOU, C. Y., HSIEH, C. W. Nonthermal technologies to maintain food quality and carbon footprint minimization in food processing: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 141, p. 104205, 2023.

ZHANG, C.; ZHAO, W.; YAN, W.; WANG, M.; TONG, Y.; ZHANG, M.; YANG, R. Effect of pulsed electric field pretreatment on oil content of potato chips. **LWT-Food Science and Technology**, v. 135, p. 110198, 2021.

ZOU, W., NIU, H., YI, J., ZHOU, L. Passion fruit juicing with or without seeds treated by high-pressure processing and thermal pasteurization: Effects on the storage stability of enzymes and quality properties. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 91, p. 103554, 2024.