



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SERTÃO
PERNAMBUCANO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO
CAMPUS PETROLINA ZONA RURAL
PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU EM PÓS-COLHEITA DE PRODUTOS HORTIFRUTÍCOLAS**

ÉRICA BIANCA DE OLIVEIRA BARACHO MACHADO

**TECNOLOGIAS EMERGENTES NA PÓS-COLHEITA DE PRODUTOS
HORTIFRUTÍCOLAS: UMA REVISÃO DE LITERATURA**

**PETROLINA - PE
2025**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SERTÃO
PERNAMBUCANO PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO
CAMPUS PETROLINA ZONA RURAL
PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU EM PÓS-COLHEITA DE PRODUTOS HORTIFRUTÍCOLAS**

ÉRICA BIANCA DE OLIVEIRA BARACHO MACHADO

**TECNOLOGIAS EMERGENTES NA PÓS-COLHEITA DE PRODUTOS
HORTIFRUTÍCOLAS: UMA REVISÃO DE LITERATURA**

Monografia apresentada ao curso de Pós-graduação *Lato Sensu* em Pós-colheita de Produtos Hortifrutícolas, ofertado pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, como parte dos requisitos para obtenção do título de Especialista.

Orientadora: Aline Rocha
Coorientadora: Ana Elisa Oliveira dos Santos

**PETROLINA - PE
2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M149 Machado, Érica Bianca de Oliveira Baracho.

Tecnologias emergentes na pós-colheita de produtos hortifrutícolas: uma revisão de literatura / Érica Bianca de Oliveira Baracho Machado. - Petrolina, 2025.
47 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Pós-colheita de Produtos Hortifrutícolas) -Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Petrolina Zona Rural, 2025.

Orientação: Prof^a. Dr^a. Aline Rocha.

Coorientação: Dr^a. Ana Elisa Oliveira dos Santos.

1. Pós-colheita. 2. Perdas pós-colheita. 3. Nanotecnologia. 4. Plasma frio. 5. Irradiação. I. Título.

CDD 631.56



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SERTÃO PERNAMBUCANO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, INOVAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO
CAMPUS PETROLINA ZONA RURAL
PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU EM PÓS-COLHEITA DE PRODUTOS HORTIFRUTÍCOLAS

A monografia “**Tecnologias emergentes na pós-colheita de produtos hortifrutícolas: uma revisão de literatura**”, autoria de **Érica Bianca de Oliveira Baracho Machado**, foi submetida à Banca Examinadora, constituída pelo IFSertãoPE, como requisito parcial necessário à obtenção do título de Especialista em Pós-colheita de Produtos Hortifrutícolas, outorgado pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano – IFSertãoPE.

Aprovado em 11 de novembro de 2025.

COMISSÃO EXAMINADORA:



Documento assinado digitalmente
ALINE ROCHA
Data: 11/11/2025 10:36:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dra. Aline Rocha – IFSertãoPE
Presidente – Orientadora

**Ana Elisa Oliveira
dos Santos**

Assinado de forma digital por Ana
Elisa Oliveira dos Santos
Dados: 2025.11.13 12:59:04 -03'00'

Prof^a. Dra Ana Elisa Oliveira dos Santos – IFSertãoPE
1^a Examinadora



Documento assinado digitalmente
LUCIANA SOUZA DE OLIVEIRA
Data: 11/11/2025 11:25:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dra. Luciana Souza de Oliveira – IFSertãoPE
2^a Examinadora



Documento assinado digitalmente
JESSICA DE SOUZA LIMA
Data: 17/11/2025 15:57:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dra. Jéssica de Souza Lima – IFSertãoPE
3^a Examinadora

Este trabalho é dedicado a mim mesma, como reconhecimento do meu esforço, da minha determinação e da persistência que me permitiram alcançar esta conquista. Cada desafio enfrentado foi superado com coragem e dedicação.

Também dedico ao meu esposo, Rivaldo, que esteve ao meu lado em todos os momentos, celebrando cada vitória e oferecendo seu apoio incondicional. Sua presença e incentivo foram fundamentais para que este sonho se tornasse realidade.

À meus pais e minha irmã Elisângela, que me ensinaram e insentivam desde criança a nunca parar de estudar, segundo eles, o conhecimento abre portas para uma vida melhor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me guiar e fortalecer em cada etapa desta jornada, sendo fonte de força, inspiração e serenidade nos momentos mais desafiadores. Sem Sua presença constante em minha vida, esta conquista não seria possível.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano (IFSertãoPE), manifesto minha gratidão pela oportunidade de crescimento acadêmico e profissional, e por proporcionar o ambiente e a estrutura necessários para a realização deste trabalho.

À minha orientadora, Profa. Dra. Aline Rocha, expresso o meu mais sincero agradecimento pela confiança, paciência, dedicação e inestimável contribuição intelectual. Sua orientação precisa e seu apoio constante foram fundamentais para a conclusão deste trabalho.

Aos membros da Banca Examinadora, agradeço por aceitarem o convite para avaliar este trabalho e pelas valiosas sugestões e contribuições, que enriqueceram a qualidade desta monografia.

Aos meus pais e irmãos, manifesto minha imensa gratidão pelo amor e por todo apoio incondicional. Vocês me ensinaram que a educação é o único caminho para construir um futuro promissor e uma sociedade mais justa. Foram minha base sólida, meu porto seguro e a força que me impulsionou a continuar, mesmo nos momentos mais desafiadores. Cada esforço dedicado por vocês à minha formação será eternamente reconhecido e valorizado.

Ao meu esposo, Rivaldo, minha gratidão é infinita. Sua parceria, incentivo e dedicação foram indispensáveis ao longo deste caminho. Você esteve presente em cada momento, celebrando minhas vitórias e oferecendo apoio nas dificuldades. Sua presença foi, e sempre será, uma bênção em minha vida.

"A ciência e a tecnologia são as
chaves para a solução dos problemas
mundiais."
(Jacques Cousteau)

RESUMO

O setor agrícola brasileiro, crucial para o abastecimento mundial, enfrenta o desafio das perdas pós-colheita, que chegam a variar entre 30% e 45% para frutas e hortaliças. Diante da necessidade de preservar a qualidade, minimizar desperdícios e atender a um mercado que exige segurança no consumo alimentar e sustentabilidade, esta monografia analisou o impacto de tecnologias emergentes na conservação de produtos hortifrutícolas. A pesquisa adotou o modelo de Revisão Sistemática da Literatura, baseada em artigos publicados entre 2002 e 2025, a partir das bases SciELO e Google Acadêmico. Os resultados demonstram que a nanotecnologia, o plasma frio e a irradiação oferecem soluções eficazes para combater a deterioração e prolongar a vida útil dos alimentos. A nanotecnologia se destaca por sua versatilidade, com o uso de nanorevestimentos, embalagens inteligentes e nanosensores que atuam no controle microbiológico e na preservação de atributos sensoriais. Contudo, seu uso é limitado por preocupações com a toxicidade das nanopartículas e a falta de regulamentações específicas. O plasma frio, um tratamento não térmico e sustentável, é altamente eficiente na descontaminação de superfícies e na degradação de resíduos de pesticidas, mas exige alto investimento em equipamentos e controle técnico rigoroso. A irradiação, por sua vez, é uma técnica consolidada e regulamentada que se mostra eficaz na eliminação de microrganismos e na inibição de processos fisiológicos, preservando a qualidade sensorial e nutricional. Apesar de sua fundamentação científica, a aceitação pública é o principal desafio, devido a percepções equivocadas sobre os riscos da radiação. Em conclusão, as tecnologias analisadas são promissoras e complementares para os desafios da pós-colheita, mas sua adoção em larga escala requer um equilíbrio entre a eficácia na segurança dos alimentos e a preservação das características físico-químicas e sensoriais, juntamente com o desenvolvimento de regulamentações claras e comunicação transparente com o consumidor.

Palavras-chave: Perdas Pós-Colheita. Nanotecnologia. Plasma Frio. Irradiação. Segurança Alimentar.

ABSTRACT

The Brazilian agricultural sector, crucial for the global supply, faces the challenge of post-harvest losses, which can range from 30% to 45% for fruits and vegetables. Given the need to preserve quality, minimize waste, and meet a market that demands food safety and sustainability, this monograph analyzed the impact of emerging technologies on the conservation of fresh produce. The research adopted the Systematic Literature Review model, based on articles published between 2002 and 2025, from the SciELO and Google Scholar databases. The results demonstrate that nanotechnology, cold plasma and irradiation offer effective solutions to combat deterioration and extend the shelf life of food. Nanotechnology stands out for its versatility, with the use of nanocoatings, smart packaging, and nanosensors that act in microbiological control and the preservation of sensory attributes. However, its use is limited by concerns regarding the toxicity of nanoparticles and the lack of specific regulations. Cold plasma, a non-thermal and sustainable treatment, is highly efficient in surface decontamination and the degradation of pesticide residues, but requires high investment in equipment and rigorous technical control. Irradiation, in turn, is a consolidated and regulated technique that proves effective in eliminating microorganisms and inhibiting physiological processes, preserving sensory and nutritional quality. Despite its scientific foundation, public acceptance is the main challenge, due to misconceptions about the risks of radiation. In conclusion, the analyzed technologies are promising and complementary to post-harvest challenges, but their large-scale adoption requires a balance between efficacy in food safety and the preservation of physicochemical and sensory characteristics, along with the development of clear regulations and transparent communication with the consumer.

Keywords: Post-Harvest Losses. Nanotechnology. Cold Plasma. Irradiation. Food Safety.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP - Atmospheric Cold Plasma (Plasma Frio Atmosférico)
Ag - Prata
ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária
ATT - Acidez Total Titulável
CA - Ácido Cítrico
DBD - Descarga de Barreira Dielétrica
FAO - Food and Agriculture Organization
FDA - Food and Drug Administration
IAEA - International Atomic Energy Agency
IOM - Institute of Medicine
JECFI - Joint Expert Committee on Food Irradiation
kGy - Quilogray (unidade de dose de radiação absorvida)
MeV - Megaeletronvolt (unidade de energia para radiação ionizante)
NO⁻ - Íon nitrito
O₂ - Oxigênio
OH⁻ - Íon hidroxila
OMS - Organização Mundial da Saúde
PPO – Polifenoloxidase
PVP - Polivinilpirrolidona
RDC - Resolução da Diretoria Colegiada
SIFs - Silver Island Films
SS - Sólidos Solúveis
SS/ATT - Relação entre Sólidos Solúveis/Acidez Total
TiO₂ NPs - Nanopartículas de Dióxido de Titânio
TIRF - Fluorescência de Reflexão Interna Total
UFC - Unidades Formadoras de Colônia
UR - Umidade Relativa
USDA - United States Department of Agriculture
UV - Ultravioleta
UV-C - Ultravioleta tipo C
ppm - Partes por milhão
DBD-CP - Descarga de Barreira Dielétrica com Plasma Frio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo Geral	13
2.2 Objetivos Específicos	13
3 MATERIAL E MÉTODOS	14
4 REFERENCIAL TEÓRICO	15
4.1 Nanotecnologia	15
4.1.1 Conceitos e história	15
4.1.2 Nanotecnologia na pós-colheita	17
4.1.3 Limitações do uso da nanotecnologia na pós-colheita	20
4.2 Plasma Frio	22
4.2.1 Conceitos e história	22
4.2.2 Plasma frio na pós-colheita	24
4.2.3 Limitações do uso do plasma frio na pós-colheita	26
4.3 Irradiação	28
4.3.1 Conceitos e história	28
4.3.2 Irradiação na pós-colheita	30
4.3.3 Limitações do uso da irradiação na pós-colheita	32
4.4 Análise crítica sobre as tecnologias	33
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

O setor agrícola brasileiro desempenha um papel fundamental na alimentação mundial, sendo responsável por uma ampla variedade de produtos que contribuem diretamente para a saúde e o bem-estar da população (ROSA et al., 2018). No entanto, grande parte desses alimentos perecíveis enfrenta perdas significativas durante o processo pós-colheita, que é um dos principais desafios da cadeia de produção e logística.

As perdas pós-colheita representam um problema econômico e ambiental significativo, especialmente em países tropicais como o Brasil, onde as condições climáticas podem acelerar o processo de deterioração. De acordo com Henz (2017), no Brasil, as perdas pós-colheita de frutas e hortaliças variam entre 30% e 45%, evidenciando a gravidade do problema. Mesmo com os avanços tecnológicos e as melhorias nos sistemas logísticos para a distribuição de produtos, as perdas pós-colheita de produtos agrícolas continuam a representar um obstáculo significativo a ser superado.

Visando preservar a qualidade, minimizar desperdícios e ampliar a durabilidade dos produtos hortifrutícolas, os avanços tecnológicos têm se intensificado de forma acelerada ao longo do tempo. As soluções desenvolvidas já demonstram um potencial transformador, com capacidade de impactar profundamente diversos setores, economias e a sociedade como um todo, sinalizando mudanças significativas e promissoras.

As tecnologias emergentes na pós-colheita, além de serem estratégias eficazes para combater perdas, surgem com o objetivo de atender às demandas de um mercado cada vez mais competitivo, no qual os consumidores priorizam alimentos que estejam em conformidade com princípios de sustentabilidade ambiental, garantam a segurança dos alimentos, promovam benefícios à saúde e assegurem condições dignas e seguras de trabalho aos profissionais envolvidos em sua produção (ANDRIGUETO; KOSOSKI, 2002), (Figura 1). Diante disso, os agentes da cadeia produtiva são motivados a adotar tecnologias cada vez mais avançadas, visando oferecer produtos que satisfaçam os padrões exigidos pelos consumidores (BARROS et al., 2010).

Figura 1 - Representação esquemática das prioridades de escolha dos alimentos pelos consumidores.



Fonte: A autora, 2025.

Abordagens tecnológicas como a nanotecnologia, irradiação e plasma frio, vêm se destacando como estratégias eficazes para prolongar a durabilidade dos produtos na pós-colheita. Recursos como embalagens inteligentes, revestimentos comestíveis e processos de sanitização contribuem diretamente para o controle de agentes deteriorantes, como pragas e doenças, e, conseqüentemente, para a preservação da qualidade e o aumento da vida útil dos alimentos. A seguir, exploraremos como cada uma dessas soluções inovadoras atua na conservação pós-colheita.

A nanotecnologia aplicada à fase pós-colheita, utiliza nanopartículas capazes de repelir microrganismos responsáveis pela deterioração dos alimentos, agindo como uma barreira contra variações químicas e ambientais (MOZAFARI et al., 2008). Além de proteger os alimentos contra fatores externos, as nanopartículas também contribuem para a preservação das propriedades sensoriais, como cor, sabor e textura (KALITA; BARUAH, 2019), os quais são elementos essenciais para a aceitação do consumidor.

A técnica de irradiação é regulamentada no Brasil pelo Ministério da Saúde por meio do Decreto nº 72.718/1973, da Lei nº 7.394/1985 e da Resolução RDC nº 21/2001. Esta técnica consiste na aplicação de radiação ionizante em dosagem controlada sobre o alimento (GAVA et al., 2009), configurando-se como uma estratégia eficiente para a conservação de produtos hortifrutícolas. Seu principal objetivo é reduzir a incidência de microrganismos por meio da esterilização dos

produtos, além de retardar o processo de amadurecimento, mantendo a integridade dos produtos por mais tempo, sempre preservando características sensoriais como sabor, aroma e cor (BRADFORD; LOAHARANV, 1993; CHITARRA; CHITARRA, 2005; FELLOWS, 2006; O'BEIRNE, 1989).

Já o plasma frio é um tratamento não térmico, que utiliza um gás ionizado – o plasma – em temperatura ambiente, para preservar características de qualidade nos alimentos, através de uma esterilização (SRUTHI et al., 2022). Sua composição inclui fótons, íons, elétrons livres e também átomos, todos em estados fundamentais ou excitados, mantendo carga neutra (PAGLIARIM, 2023). Essa tecnologia é muito utilizada para descontaminar os produtos que possuem microorganismos, ele se desloca por volta de toda a superfície, garantindo assim que todas as partes dos frutos ou hortaliças sejam esterelizadas (HARIKRISHNA et al., 2023). Além disso, preserva compostos bioativos e as características sensoriais dos produtos (COUTINHO et al., 2018; HARIKRISHNA et al., 2023).

O uso dessas tecnologias, ao intensificar a preservação de atributos como cor, sabor, textura e aroma, favorece uma maior aceitação dos produtos pelos consumidores e prolonga seu tempo de prateleira. Esse avanço contribui de forma significativa para a redução das perdas pós-colheita e amplia a oferta de alimentos à população.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar com base na literatura científica o potencial da nanotecnologia, plasma frio e irradiação como métodos de conservação pós-colheita, considerando sua eficiência na preservação sensorial e na eliminação microbiana, bem como suas limitações e implicações para a segurança alimentar.

2.2 Objetivos Específicos

- Compreender e apresentar os conceitos fundamentais e a origem histórica das tecnologias: nanotecnologia, plasma frio e irradiação.
- Caracterizar os benefícios que essas tecnologias oferecem na redução de perdas pós-colheita, no aumento da segurança dos alimentos, na redução de patógenos e na sustentabilidade da cadeia produtiva.
- Analisar as limitações e desvantagens dessas tecnologias com relação aos custos de operação, riscos à saúde e meio ambiente.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho adotou o modelo de Revisão Sistemática da Literatura, uma abordagem de pesquisa secundária voltada à identificação, avaliação e síntese de evidências científicas relevantes sobre um tema específico. Esta revisão buscou analisar e interpretar um determinado tema com base em referências já publicadas, indo além da simples repetição de conteúdos existentes e passando a ser uma abordagem mais crítica e reflexiva, capaz de oferecer novas perspectivas e conduzir a conclusões inovadoras (MARCONI; LAKATOS, 2007).

Esta revisão bibliográfica contemplou pesquisas sobre o “Impacto das tecnologias na conservação pós-colheita de frutas e hortaliças”, analisando a literatura disponível sobre o tema e reunindo as informações mais relevantes para seu desenvolvimento.

A busca pelos materiais utilizados nesta pesquisa foi realizada nas bases de dados SciELO e Google Acadêmico, com base em estudos publicados desde 2002 até 2025, utilizando os seguintes descritores: “nanotechnology”, “nanotecnologia na pós-colheita”, “tecnologias pós-colheita”, “cold plasma”, “plasma frio”, “food irradiation”, “irradiação ionizante em frutas” e “pós-colheita”. Os dados encontrados foram criteriosamente selecionados e analisados com o objetivo de responder aos objetivos e embasar teoricamente o tema.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Nanotecnologia

4.1.1 Conceitos e história

A nanotecnologia é a ciência que estuda e manipula materiais em dimensões extremamente pequenas, da ordem de 1 a 10^{-9} . Um nanômetro equivale a aproximadamente 1/60.000 da espessura de um fio de cabelo humano, ou seja, é tão pequeno quanto muitos vírus (SEKHON, 2010), tornando-se invisível a olho nu e acessível apenas por tecnologias altamente avançadas. As estruturas em escala nanométrica são tão pequenas que, hipoteticamente, até mesmo bactérias precisariam de um microscópio para visualizá-las (IOM, 2009).

O avanço das tecnologias nano tem permitido a manipulação de materiais em dimensões até então inacessíveis, possibilitando o desenvolvimento de estruturas inovadoras e ampliando significativamente as possibilidades de aplicação em diversos setores.

O conceito de nanotecnologia teve origem em 1959, quando o físico e ganhador do Prêmio Nobel Richard Feynman, em sua célebre palestra intitulada *“Há muito espaço no fundo”*, propôs a ideia de manipular a matéria átomo por átomo, embora sem utilizar o termo “nanotecnologia”. Foi apenas em 1974 que o pesquisador japonês Norio Taniguchi empregou formalmente o termo para descrever processos de engenharia em escalas extremamente reduzidas, inferiores a um micrômetro. No entanto, a popularização do conceito ocorreu somente em 1986, com o engenheiro norte-americano K. Eric Drexler, que publicou o livro *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*, no qual difundiu a visão de máquinas nanométricas capazes de manipular átomos individualmente, consolidando a nanotecnologia como um campo promissor e multidisciplinar.

Embora o termo “nanotecnologia” seja relativamente recente, os estudos relacionados à manipulação da matéria em escala microscópica remontam há mais de um século (IOM, 2009), (Figura 2). Exemplos notáveis incluem as investigações de Louis Pasteur sobre bactérias responsáveis pela deterioração de alimentos em 1866, e a descoberta da estrutura do DNA por Watson e Crick em 1953 (IOM, 2009).

Esses marcos representam contribuições significativas para a nanotecnologia e ilustram sua longa trajetória no avanço do conhecimento científico.

Na área da pós-colheita, a aplicação da nanotecnologia é relativamente recente. Em 1998, uma patente registrada pela empresa norte-americana MARS Inc. (BEYER et al., 1998) descreveu o uso de revestimentos à base de dióxido de titânio, dióxido de magnésio e óxido de silício com o objetivo de reduzir a taxa de respiração em frutas frescas e limitar a permeação de gases, contribuindo para a preservação da qualidade pós-colheita (ASSIS, 2011).

Figura 2 – Representação esquemática da evolução histórica da nanotecnologia.



Fonte: A autora, 2025.

A partir dessa iniciativa, observou-se um crescimento significativo na produção de artigos científicos e registros de patentes voltados à nanoagricultura, abrangendo inovações em processamento de alimentos, desenvolvimento de embalagens inteligentes, aprimoramento do controle de qualidade e formulação de alimentos funcionais, evidenciando o acelerado avanço e o potencial dessa área (DASGUPTA et al., 2015).

Considerando o rápido progresso da nanotecnologia e suas aplicações direcionadas às pesquisas nos setores agrícola e alimentar (SADEGHI et al., 2017),

essa área tem se destacado como uma das mais promissoras para ampliar a oferta de alimentos e fomentar o desenvolvimento de soluções inovadoras voltadas à agricultura (NEME et al., 2021).

4.1.2 Nanotecnologia na pós-colheita

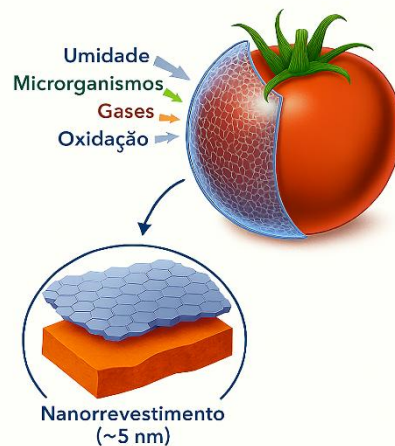
A aplicação de nanopartículas na etapa pós-colheita de produtos hortifrutícolas, tem como finalidade preservar a qualidade dos alimentos e prolongar sua vida útil, contribuindo diretamente para uma maior segurança e confiabilidade no consumo. Essa tecnologia contribui para a preservação das características sensoriais dos alimentos, como cor, sabor e textura (KALITA; BARUAH, 2019), desacelerando o processo de maturação e proporcionando uma diminuição do desperdício associado às perdas pós-colheita, favorecendo assim um melhor aproveitamento dos produtos.

Dentre as principais técnicas empregadas na conservação e produtos hortifrutícolas na pós-colheita, destacam-se os nanorevestimentos, as embalagens inteligentes incorporadas com nanopartículas e os nanossensores.

Os nanorevestimentos consistem em filmes ultrafinos aplicados sobre a superfície dos produtos hortifrutícolas, formando uma barreira protetora capaz de preservar suas características sensoriais e físico-químicas. Essa tecnologia permite a formação de uma película em escala nanométrica, com espessura de até cinco nanômetros (SEKHON, 2010), (Figura 3), que atua na redução da troca de gases e da permeabilidade da umidade, dificultando a proliferação de microrganismos e, consequentemente, retardando o processo de deterioração. AN et al., (2008) verificaram que o uso de nanopartículas de prata a base de PVP em aspargos, retardou o crescimento microbiano, proporcionando uma diminuição na perda de massa fresca e na mudança da coloração da hortaliça.

Além dele, Guerra (2021) também investigou filmes e revestimentos à base de pectina, formulados com cloreto de cálcio, glicerol e diferentes concentrações de nanopartículas de zinco (0; 0,25; 0,50 e 1% p/v). Os resultados indicaram que a concentração de 1% de nanopartículas de zinco foi a mais eficaz, proporcionando melhor qualidade à manga 'Ubá' no 12º dia de avaliação, além de retardar significativamente o processo de amadurecimento.

Figura 3 - Representação esquemática da aplicação de nanorrevestimento em produtos hortifrutícolas.



Fonte: MICROSOFT. Copilot (modelo GPT-4). Imagem gerada em out. 2025

As embalagens inteligentes (Figura 4), representam uma inovação que redefine os processos de armazenamento, transporte e comercialização de produtos na fase pós-colheita. Diferentemente das embalagens convencionais, elas não apenas envolvem o alimento, mas interagem com ele e com o ambiente externo, contribuindo para a conservação, manutenção da qualidade e redução de perdas ao longo da cadeia produtiva.

Figura 4 – Embalagem inteligente com sensor óptico para monitoramento em tempo real do frescor e maturação de frutas.



Fonte: Adaptada de ABRAE, 2019 (acesso em nov. 2025).

Estes dispositivos funcionam como detectores ultra-sensíveis capazes de

monitorar a qualidade, a segurança e o frescor dos produtos em tempo real, identificando alterações químicas, biológicas ou físicas que podem indicar contaminação ou deterioração. O principal objetivo dessas embalagens é eliminar a necessidade da data de validade impressa, substituindo-a por um monitoramento dinâmico, pois muitos alimentos são descartados prematuramente ao atingirem a data de validade, mesmo que ainda estejam em boas condições para consumo. Para realizar esse monitoramento dinâmico, o sistema emprega nanosensores ópticos que mudam de cor em resposta a indicadores específicos. Essa mudança pode ser desencadeada pela liberação de gases pela fruta, como o etileno (sinalizando o amadurecimento), por mudanças na temperatura, umidade do ambiente de armazenamento, ou simplesmente pelo avanço do tempo de estocagem.

Nesse contexto, a nanotecnologia tem desempenhado um papel fundamental no aprimoramento das funcionalidades dessas embalagens, com nanopartículas que podem ser empregadas na conservação de alimentos na pós-colheita. Mohr et al. (2019) incorporaram nanopartículas de dióxido de titânio (TiO_2 NPs) a polímeros utilizados em embalagens com o objetivo de bloquear a radiação ultravioleta (UV). Os resultados demonstraram que essa incorporação alterou as propriedades de transmissão luminosa dos materiais, funcionando como uma barreira eficaz contra a radiação UV. Esse bloqueio contribui para a redução do aumento de temperatura no interior das embalagens, o que, por sua vez, auxilia na desaceleração dos processos de maturação e deterioração dos produtos armazenados.

Os nanosensores são dispositivos que operam em escala nanométrica que são capazes de monitorar, detectar e responder a mudanças físicas, químicas e biológicas dos alimentos armazenados. Eles são incorporados as embalagens em sua matriz polimérica (SOZER; KOKINI, 2009), onde atuam como sistemas de monitoramento em tempo real, capazes de detectar gases como o etileno, que indica o grau de amadurecimento, microorganismos, mudança de temperatura dentro das embalagens e a presença de contaminantes (BRATOVČIĆ et al., 2015), alertando consumidores e fornecedores sobre a segurança do produto (CHENG et al., 2006).

Além de detectar contaminantes e microrganismos, os nanosensores também apresentam potencial para identificar componentes alergênicos em alimentos. Staiano et al. (2009) desenvolveram uma plataforma de sensoriamento altamente sensível destinada à detecção de gliadina, a principal proteína desencadeadora de processos inflamatórios em indivíduos com doença celíaca. A metodologia empregada consistiu

em um imunoenensaio associado à fluorescência de Reflexão Interna Total (TIRF), utilizando o princípio da fluorescência metálica aprimorada por meio de anticorpos anti-gliadina acoplados a filmes nanoestruturados de prata (*Silver Island Films* - SIFs). Esta combinação proporcionou um aumento significativo na intensidade do sinal de fluorescência, resultando na quantificação precisa e ultrasensível de traços de glúten em amostras de alimentos. A eficácia demonstrada pelo sistema, ressaltou seu potencial para o controle de qualidade e a garantia da segurança alimentar para pacientes celíacos, permitindo uma análise rápida e confiável em produtos rotulados como livres de glúten.

4.1.3 Limitações do uso da nanotecnologia na pós-colheita

Apesar dos avanços significativos proporcionados pela nanotecnologia na conservação de alimentos, seu uso ainda apresenta limitações e desvantagens, especialmente no que diz respeito à saúde pública e ao meio ambiente. Estudos recentes têm levantado preocupações sobre os possíveis efeitos adversos à saúde humana decorrentes da exposição a nanomateriais presentes em embalagens e revestimentos alimentares (MALAKAR et al., 2021). Isso se deve ao fato de que certas nanopartículas possuem a capacidade de atravessar barreiras celulares e interagir diretamente com sistemas biológicos (DONAHUE et al., 2019). Diante desse cenário, torna-se essencial uma avaliação criteriosa quanto à dosagem e à segurança no uso dessas tecnologias, a fim de subsidiar decisões responsáveis e garantir sua aplicação segura no setor alimentício (VENÂNCIO et al., 2025).

Entretanto, a compreensão dos efeitos provocados pelos nanomateriais, bem como das respostas imunológicas desencadeadas por sua exposição, ainda se encontra em estágio inicial. Essa limitação evidencia a necessidade urgente de estudos mais aprofundados, com o objetivo de identificar e quantificar os riscos associados ao contato com essas substâncias (SOUSA et al., 2023; XUE et al., 2019).

Outro aspecto relevante a ser considerado é a ausência de regulamentações específicas que estabeleçam protocolos rigorosos quanto aos tipos e às concentrações de nanocomponentes permitidos para uso em alimentos. Embora a nanotecnologia represente avanços significativos no setor, sua aplicação inadequada pode acarretar sérios riscos à saúde humana, incluindo o desenvolvimento de doenças como câncer e complicações renais (BARANOWASKA-WÓJCIK et al., 2020; MERLIN; LI, 2021) já que materiais inorgânicos, como prata, dióxido de titânio, zinco

e outros elementos frequentemente utilizados como suplementos alimentares podem apresentar níveis elevados de toxicidade quando consumidos na forma de nanopartículas (MILLER; SENJEN, 2008).

Com relação ao meio ambiente, o descarte inadequado de nanomateriais pode gerar impactos ambientais significativos, especialmente quando suas partículas interagem de maneira imprevisível com organismos vivos. Essa interação pode comprometer o equilíbrio dos ecossistemas, exigindo atenção quanto ao manejo e a destinação correta desses resíduos.

Além dos desafios ambientais, a elevada dependência de tecnologias externas representa um obstáculo estrutural para o avanço da nanotecnologia no Brasil. Grande parte dos insumos, equipamentos e tecnologias de ponta utilizados nas pesquisas e no desenvolvimento de nanomateriais é adquirida por meio de importações, o que contribui para o aumento dos custos operacionais e expõe o setor às oscilações cambiais e às restrições impostas pelo mercado internacional (MACIEL; GUIMARÃES, 2020).

Adicionalmente, grande parte dos consumidores desconhece que determinados alimentos comercializados utilizam nanotecnologia em sua composição ou embalagem. Essa falta de informação levanta importantes questões éticas relacionadas à transparência, tornando-se um obstáculo relevante para aqueles que desejam tomar decisões conscientes e bem fundamentadas sobre o que consomem (SOUSA et al., 2023).

De forma geral, o conceito, as aplicações e as principais limitações da nanotecnologia na fase pós-colheita, conforme discutido nos tópicos anteriores, estão condensados no Quadro 1.

Quadro 1: Resumo da nanotecnologia.

Tecnologia	Conceito	Aplicações Pós-Colheita	Limitações
Nanotecnologia	Manipulação de materiais em escala extremamente pequena (1 a 10^{-9}), permitindo o desenvolvimento de estruturas e funcionalidades inovadoras.	Nanorevestimentos capazes de produzir uma barreira protetora. Embalagens Inteligentes, que incorporam nanopartículas para a conservação do alimento e, nanosensores que monitoram em tempo real gases, microrganismos e contaminantes.	Riscos à Saúde, regulamentação inexistente, descarte ambiental inadequado.

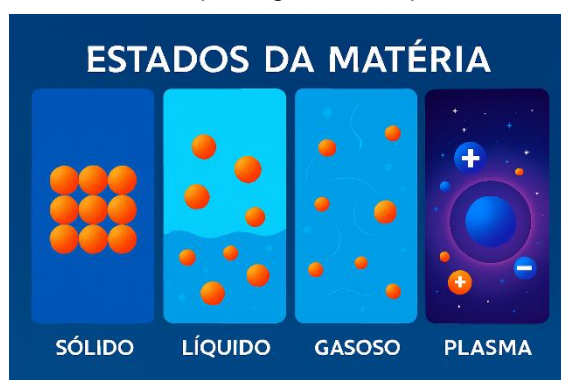
Fonte: A autora, 2025.

4.2 Plasma Frio

4.2.1 Conceitos e história

No ano de 1928, o pesquisador Irving Langmuir cunhou o termo “plasma” para definir o quarto estado da matéria, composto por partículas ionizadas, como elétrons livres e íons positivos, que interagem juntas sob a ação de campos eletromagnéticos. Essa descoberta foi fundamental para a física moderna, ampliando a compreensão de fenômenos presentes em ambientes de alta energia, como o interior das estrelas e aplicações industriais avançadas. O plasma se junta aos estados sólido, líquido e gasoso, completando o conjunto dos quatro estados fundamentais da matéria (Figura 5).

Figura 5 - Estados da matéria, sólido, líquido, gasoso e o plasma



Fonte - MICROSOFT. Copilot (modelo GPT-4). Imagem gerada em out. 2025.

O plasma é formado pela energização de um gás neutro, sob diferentes faixas de pressão e temperatura, sendo classificado em duas categorias: térmico e não térmico (BURM, 2012). A geração do plasma térmico requer condições extremas, como pressões elevadas da ordem de 10^5 Pa e potências que podem atingir até 50 megawatts, garantindo o equilíbrio térmico entre os elétrons e as espécies mais pesadas presentes no sistema (SCHOLTZ et al., 2015). Diferentemente dele, o plasma não térmico é gerado a condições de baixa pressão, potência e temperatura, sem equilíbrio termodinâmico (FAROOQ et al., 2023) o que faz com que mesmo os elétrons estando quentes, os íons e as moléculas neutras continuem frios.

Os métodos de processamento não térmico têm ganhado destaque na conservação de alimentos por sua capacidade de inativar microrganismos sem a necessidade de altas temperaturas, preservando assim as características sensoriais

e nutricionais dos produtos. Entre as principais tecnologias utilizadas estão a aplicação de alta pressão, campos elétricos pulsados, radiação ultravioleta (UV) e o plasma frio (SINGH et al., 2022; MUKHTAR et al., 2022; STRANSKA et al., 2023).

O plasma frio representa uma tecnologia de elevada eficiência na indústria alimentícia, atuando como um método de esterilização livre de resíduos, com tempos de processamento reduzidos e caráter sustentável, o que contribui diretamente para a preservação ambiental (PANKAJ et al., 2018). Ele tem ganhado destaque como uma tecnologia promissora na etapa pós-colheita por sua capacidade de conservar os produtos sem o uso de calor ou produtos químicos agressivos, contribuindo para a extensão da vida útil dos alimentos, ao mesmo tempo em que preserva suas propriedades sensoriais e nutricionais (CHAROUX et al., 2020; CHAROUX et al., 2021) garantindo a segurança dos alimentos para o consumidor.

O plasma frio é gerado pela injeção seletiva de energia em um gás, acelerando os elétrons e promovendo a ionização parcial. A Descarga de Barreira Dielétrica (DBD) é um dos métodos mais eficazes para produzir esse plasma de forma estável e uniforme à pressão atmosférica. A configuração da DBD utiliza dois eletrodos (geralmente recobertos por uma camada dielétrica) com um gás fluindo entre eles. A aplicação de alta voltagem em um dos eletrodos, enquanto o outro é aterrado, cria a descarga necessária para ionizar o gás e formar o plasma frio (Figura 6), (HOFFMANN et al., 2013).

Figura 6 – Aplicação do plasma frio em produtos hortifrutícolas.



Fonte: Adaptada de Clarín, 2021 (acesso em nov. 2025).

4.2.2 Plasma frio na pós-colheita

O plasma frio apresenta múltiplas aplicações na fase pós-colheita, tendo como principal objetivo conservar os alimentos e estender sua vida útil, utilizando mecanismos que realizam a esterilização dos produtos, garantindo assim a inativação de microorganismos.

Essa tecnologia pode ser aplicada no tratamento de embalagens antes do envase, proporcionando propriedades antimicrobianas à embalagem, ou utilizada para descontaminar superfícies, eliminando fungos, bactérias e vírus presentes na casca de frutas e hortaliças. Além disso, também serve para degradar resíduos de pesticidas na superfície dos alimentos e para inibir proteínas alergênicas (LAROQUE et al., 2021).

Ziuzina et al. (2020) avaliaram o uso da tecnologia de Plasma Frio Atmosférico (ACP) para descontaminar morangos e espinafres contaminados com *Escherichia coli* e *Listeria innocua*. O ACP foi gerado por meio de um reator piloto de descarga de barreira dielétrica (DBD) em alta voltagem, operando em modo estático ou contínuo, visando a descontaminação dos produtos sem comprometer sua qualidade. No tratamento estático, foram observadas reduções expressivas nas populações bacterianas, com quedas de 2,0 e 2,2 log₁₀ UFC/mL para *E. coli*, e de 1,3 e 1,7 log₁₀ UFC/mL para *L. innocua*. Já o tratamento contínuo demonstrou alta eficácia contra *L. innocua* em morangos, alcançando uma redução de 3,8 log₁₀ UFC/mL. O modo estático proporcionou as maiores reduções na população de *E. coli* em morangos e espinafres, enquanto que, o tratamento contínuo foi mais eficiente para *L. innocua* em morangos. Não foram identificadas alterações significativas na cor, firmeza, pH ou sólidos solúveis em comparação com as amostras controle, indicando que o reator de plasma atmosférico em escala piloto preservou a qualidade sensorial dos alimentos juntamente com sua eficácia antimicrobiana.

Kim e Min (2018) avaliaram a eficácia do tratamento por descarga de barreira dielétrica com plasma frio (DBD-CP) combinado à vaporização de umidade na descontaminação de flocos de cebola (*Allium cepa* L.) contaminados por *Salmonella enterica* sorovar *Enteritidis*, *Escherichia coli* O157:H7 e *Listeria monocytogenes*. Os resultados mostraram que a redução da carga microbiana diminuiu com o aumento da frequência do tratamento, enquanto a inativação dos microrganismos aumentou significativamente com o tempo de exposição. Além disso, a combinação do tratamento com plasma frio e vaporização de umidade demonstrou alta eficácia na

eliminação dos patógenos transmitidos por alimentos, sem comprometer as características físico-químicas dos flocos de cebola.

Com relação a degradação dos resíduos de pesticidas, o Plasma Frio atua fornecendo energia através de elétrons, que promovem a dissociação das moléculas dos pesticidas por meio da interação com espécies reativas do plasma. Esse processo resulta na quebra das ligações químicas e em diversas reações de oxidação (BAI et al., 2010; FENG et al., 2019; GAVAHIAN et al., 2020). Assim, os produtos resultantes da degradação, assim como os intermediários formados, apresentam toxicidade reduzida em comparação ao pesticida original (SARANGAPANI et al., 2016).

Foi o que Mousavi et al. (2017) perceberam ao investigarem o impacto da descarga de barreira dielétrica (DBD) na degradação de diazinon e clorpirifós em maçãs e pepinos. Eles constataram que tratamentos mais longos, entre 2 e 10 minutos, aliados a voltagens elevadas de 10 a 13 kV, aumentaram significativamente a desintoxicação de maçãs e pepinos pelos pesticidas. Nas maçãs, a redução foi de 87,4% para diazinon e 87,0% para clorpirifós, enquanto nos pepinos, as reduções foram de 82,2% e 33,7%, respectivamente, considerando uma concentração inicial de 500 ppm, 13 kV e 10 minutos de tratamento.

Wang et al. (2016) avaliaram a eficácia do tratamento com plasma frio na degradação dos pesticidas boscalida e imidacloprida em mirtilos, utilizando um reator de descarga de barreira dielétrica (DBD) em embalagens. Os resultados mostraram taxas de degradação de 80,18% para boscalida e 75,62% para imidacloprida após 5 minutos de exposição a 80 kV. Além disso, observou-se um aumento significativo nos teores de fenóis e flavonoides em tratamentos curtos, embora o ácido ascórbico tenha sido reduzido em exposições mais prolongadas. Parâmetros físicos como cor permaneceram estáveis, e a firmeza apresentou alterações aceitáveis.

No estudo de Phan et al. (2018) uma descarga de arco deslizante com argônio para degradar clorpirifós e cipermetrina foi testada na superfície de mangas. Após 5 minutos e 5 L/min, o plasma frio reduziu o clorpirifós em 74,0% e a cipermetrina em 62,9%.

Na modificação das superfícies das embalagens, o plasma frio é empregado com o objetivo de inativar microorganismos presentes nos alimentos. Essa aplicação aumenta a segurança dos alimentos e prolonga sua vida útil, sem a necessidade do uso de agentes químicos agressivos.

Segundo Subrahmanyam et al. (2023), o tratamento com plasma frio em

embalagem (in-package cold plasma) mostrou-se eficaz para reduzir significativamente a carga microbiana em cogumelos tipo champignon, incluindo bactérias, leveduras e fungos, durante sete dias de armazenamento a 4 °C. Os cogumelos foram embalados com diferentes combinações gasosas, sendo que a atmosfera com alta concentração de oxigênio (80% de O₂) apresentou os melhores resultados antimicrobianos e na preservação das propriedades físico-químicas, como textura e cor. A atividade da enzima polifenoloxidase (PPO), que é responsável pelo escurecimento, também foi reduzida em 29%, contribuindo para a manutenção da qualidade visual dos cogumelos. Ao final do estudo, os cogumelos tratados com plasma frio em embalagem mantiveram características de qualidade significativamente superiores em relação aos controles e aos tratados com plasma direto.

4.2.3 Limitações do uso do plasma frio na pós-colheita

Embora o plasma frio seja uma tecnologia promissora para aplicação na pós-colheita, especialmente por sua capacidade antimicrobiana sem a necessidade de químicos agressivos, ele apresenta algumas limitações. Entre elas, destacam-se alterações na qualidade sensorial dos alimentos, como mudanças na textura e na cor, além de possíveis danos celulares. A eficiência do tratamento também varia conforme o tipo de produto, e os custos elevados, juntamente com a complexidade operacional, representam desafios para seu uso.

Segundo Nikzadfar et al. (2024), exposições prolongadas ao plasma frio nem sempre podem ser vantajosas, podemos verificar essa afirmação no estudo de Zhang et al. (2021), que avaliou os efeitos do tratamento com plasma frio atmosférico (ACP) gerado por descarga de barreira dielétrica (DBD) em peras frescas cortadas, utilizando diferentes voltagens (45 e 65 kV) e tempos de exposição (1 e 5 minutos). Eles viram que as peras tratadas a 65 kV por 5 minutos apresentaram maiores populações bacterianas, aumento do estresse oxidativo e deterioração acelerada da textura em comparação com aquelas tratadas a 65 kV por apenas 1 minuto, o que foi atribuído à presença de mais espécies reativas intercelulares, como N₂⁺, NO⁻ e OH⁻. Esse resultado reforça a importância de ajustar cuidadosamente os parâmetros de voltagem e tempo para otimizar os benefícios do ACP na conservação de frutas frescas.

Sarangapani et al. (2017) trabalharam com o uso do plasma frio atmosférico em mirtilos, aplicando voltagens de 60 kV e 80 kV por 1 e 5 minutos, com o objetivo

de eliminar os pesticidas boscalida e imidacloprida. Embora o tratamento a 80 kV por 5 minutos tenha sido eficiente na remoção desses resíduos químicos, provocou efeitos negativos na qualidade nutricional da fruta, especialmente comprometendo a textura dos mirtilos, evidenciando a necessidade de equilibrar a intensidade e o tempo do tratamento para garantir a descontaminação sem prejudicar as propriedades sensoriais e nutricionais dos alimentos.

O estudo de HU et al. (2021) analisou os efeitos do tratamento com plasma frio atmosférico em mirtilos, comparando dois tempos, 5 e 20 minutos, de exposição a 4kV. Os resultados mostraram que o tratamento mais prolongado (4 kV por 20 minutos) causou amolecimento significativo do fruto e redução no teor de antocianinas, compostos responsáveis pela cor e propriedades antioxidantes dos mirtilos. Isso reforça mais uma vez que, embora o plasma frio seja uma tecnologia promissora para conservação de alimentos, exposições excessivas podem comprometer atributos sensoriais e nutricionais importantes, exigindo ajustes precisos nos parâmetros de aplicação.

Misra et al. (2014) também observaram alterações significativas na coloração e na firmeza de morangos submetidos ao tratamento com plasma frio. O estudo foi conduzido em condições de embalagem selada, utilizando duas misturas gasosas distintas: uma composta por 65% de oxigênio, 16% de nitrogênio e 19% de dióxido de carbono; e outra por 90% de nitrogênio e 10% de oxigênio. Os resultados indicaram que os morangos tratados sob atmosfera com alto teor de nitrogênio apresentaram redução nos valores de coloração, sugerindo possível impacto na aparência visual do fruto. Além disso, variações na firmeza foram registradas, evidenciando que a composição gasosa pode influenciar diretamente os efeitos do plasma frio sobre atributos físico-químicos nos morangos. Além disso, esse estudo também mostrou que não houve diferença significativa na taxa de redução microbiana entre os dois tipos de atmosfera, sugerindo que a eficácia do plasma frio na descontaminação dos morangos não depende diretamente da proporção dos gases presentes na embalagem, ao menos dentro das faixas testadas.

Alterações nos parâmetros de cor também foram observadas em cenouras e fatias de pepino submetidas ao tratamento com plasma frio atmosférico, utilizando uma fonte de microjato de plasma, conforme relatado por Wang et al. (2012). Esses efeitos indicam que o plasma pode influenciar diretamente atributos visuais dos produtos hortícolas, como luminosidade e tonalidade, dependendo das condições de

aplicação e da natureza do alimento.

Outra limitação importante está relacionada aos equipamentos necessários para a geração do plasma frio, que demandam elevados investimentos financeiros, especialmente para os sistemas de descarga de barreira dielétrica. Além disso, o processo requer um controle técnico rigoroso de parâmetros como voltagem, tempo de exposição e composição gasosa, o que implica a necessidade de operadores especializados para assegurar a eficácia da descontaminação sem prejudicar a qualidade dos alimentos (SILVA et al., 2022). Essa combinação de complexidade técnica e alto custo pode dificultar a adoção da tecnologia por pesquisadores ou instituições com recursos limitados.

Em resumo, o conceito, as aplicações e as principais limitações da irradiação na fase pós-colheita, conforme discutido nos tópicos anteriores, estão condensados no Quadro 2.

Quadro 2: Resumo do Plasma Frio.

Tecnologia	Conceito	Aplicações Pós-Colheita	Limitações
Plasma Frio	Quarto estado da matéria gerado a baixa pressão e temperatura, composto por partículas ionizadas, sem equilíbrio termodinâmico.	Inativação de microrganismos em superfícies de produtos, degradação de pesticidas, extensão da vida útil e preservação das propriedades sensoriais dos alimentos.	Alterações sensoriais dos alimentos, danos celulares e custo alto dos equipamentos.

Fonte: A autora, 2025.

4.3 Irradiação

4.3.1 Conceitos e história

A irradiação de alimentos é uma técnica antiga, que ganhou destaque na década de 1950, especialmente nos Estados Unidos, para usos militares (BORGES, 2002). Durante a Guerra Fria, essa tecnologia foi desenvolvida como parte dos esforços para garantir alimentos seguros e de longa duração para tropas em missões prolongadas ou em regiões com infraestrutura limitada, sendo estudada no âmbito do programa “Atoms for Peace”.

Ao longo dos anos, a irradiação de alimentos foi amplamente estudada e avaliada por órgãos como a Food and Drug Administration (FDA) e o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (United States Department of Agriculture - USDA).

Entre 1965 e 1970, organizações internacionais como a Organização Mundial da Saúde (OMS), a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (Food and Agriculture Organization - FAO), a Agência Internacional de Energia Atômica (International Atomic Energy Agency - IAEA) e o Comitê Conjunto de Especialistas em Irradiação de Alimentos (Joint Expert Committee on Food Irradiation - JECFI) iniciaram pesquisas sobre as características e a segurança dos alimentos irradiados (ALMEIDA, 2006; CREDE, 2005). No Brasil, o uso da irradiação no processamento de alimentos ganhou força nas décadas de 1970 e 1980, impulsionado por pesquisas toxicológicas que confirmaram a inofensividade dos alimentos irradiados (CREDE, 2005).

A Resolução RDC nº 21, de 26 de janeiro de 2001, aprovada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (BRASIL, 2001), estabeleceu o Regulamento Técnico para Irradiação de Alimentos, autorizando o uso da irradiação em todos os tipos de alimentos e suas matérias-primas (PRESTES, 2002).

Conforme esta mesma resolução, as fontes de radiação utilizadas na irradiação de alimentos incluem isótopos radioativos emissores de radiação gama, como o cobalto-60 e o cézio-137, raios-X produzidos por máquinas que operam com energias de até 5 MeV e feixes de elétrons gerados por equipamentos que funcionam com energias de até 10 MeV.

Na pós-colheita, a irradiação de alimentos consiste em um processo tecnológico no qual os alimentos são submetidos a radiação ionizante (Alfa, Beta e Gama) de maneira controlada quanto à intensidade e duração (DECONTE et al., 2022), visando a extensão da vida útil dos produtos (BOARATTI, 2004; FDA, 2011). Os alimentos passam apenas por uma exposição controlada à radiação, sem que isso cause contaminação.

Quando aplicada corretamente, essa técnica é capaz de inativar microrganismos por meio da esterilização, ao mesmo tempo em que preserva características sensoriais importantes, como cor, textura, sabor e valor nutricional.

Atualmente, observa-se um crescimento significativo na demanda dos consumidores por alimentos livres de resíduos químicos. Entre as tecnologias alternativas disponíveis para o controle de contaminantes biológicos na pós-colheita, a irradiação UV-C tem se destacado por sua eficácia, uma vez que preserva os aspectos qualitativos dos produtos (BARASAN, 2009; TERAQ et al., 2015).

4.3.2 Irradiação na pós-colheita

A técnica de irradiação de alimentos traz múltiplos benefícios na fase pós-colheita, sendo reconhecida como uma alternativa eficaz para garantir a qualidade e a segurança dos produtos agrícolas. Ao atuar na eliminação de microrganismos, no controle de pragas e na inibição de processos fisiológicos naturais indesejados, essa tecnologia contribui diretamente para a conservação dos alimentos, reduzindo perdas e atendendo às exigências sanitárias do mercado consumidor.

Essa tecnologia consegue atuar na inibição de brotamentos (COUTO; SANTIAGO, 2010), eliminação de insetos, parasitas, bactérias patogênicas, fungos e leveduras, podendo, em doses elevadas, esterilizar os alimentos e possibilitar seu armazenamento prolongado em condições não refrigeradas (BOARATTI, 2004), minimizando as perdas pós-colheita, como também proporcionando aos consumidores uma maior segurança no consumo dos alimentos.

Vários estudos têm mostrado o sucesso da aplicação da irradiação na conservação das características sensoriais dos produtos, cor, textura, sabor e valor nutricional. Rodrigues (2014), avaliando o uso da irradiação na conservação pós-colheita de mini tomates observou que a dose de 0,6 kGy proporcionou maior firmeza e manteve os frutos mais túrgidos por mais tempo, preservando essa característica em praticamente todas as amostras desde o dia 0 até o 30º dia. Além disso os tomates irradiados mantiveram o sabor e a concentração de licopeno por mais tempo, desde o início até o final da avaliação em ambos os tratamentos, entretanto perderam ácido ascórbico em relação aos não-irradiados.

Lima et al. (2001), também avaliou o efeito da irradiação gama sobre as características físicas e químicas na pós-colheita da cenoura Nantes. As cenouras foram submetidas à irradiação ionizante gama, usando césio como fonte, em doses de 0,25, 0,50, 0,75 e 1,0 kGy, respeitando o limite máximo estabelecido pela FDA (ESTADOS UNIDOS, 1995). Foram avaliados parâmetros como pH, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação SS/AT, perda de massa fresca, firmeza, cor, carotenóides totais, vitamina C e compostos voláteis, comparando os tratamentos com um grupo controle. Os resultados indicaram que, em geral, não houve diferenças significativas ao nível de 5% entre os tratamentos e o grupo controle nas diversas análises realizadas, exceto pela diminuição da cor, onde houve uma diminuição da mesma com o aumento da dose de irradiação, na acidez total e relação SS/AT devido ao decréscimo dos ácidos orgânicos que geralmente ocorrem após a colheita. A

irradiação em baixas doses, como as testadas no estudo, mostrou-se eficaz para preservar a qualidade das cenouras, configurando-se como uma alternativa promissora para reduzir perdas na pós-colheita.

Vieira (2020) avaliou o efeito da irradiação com Cobalto-60, com doses de: 0 (controle), 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1,0 e 1,2 kGy na conservação pós-colheita da atemoia 'Thompson'. Os frutos foram acondicionados em bandejas de poliestireno seladas com filme de policloreto de vinila (0,020 mm) e armazenados em câmara fria a $15 \pm 0,2$ °C e $90 \pm 2\%$ de umidade relativa. As doses mais elevadas, especialmente 1,0 e 1,2 kGy, retardaram a taxa respiratória até o 9º dia — três dias a mais em relação ao controle — sem provocar alterações significativas nos demais atributos. Esses resultados indicam que a irradiação nessas concentrações é eficaz para preservar a qualidade e prolongar a vida útil da atemoia.

O estudo de Neves et al. (2002) analisou o efeito da radiação gama na conservação pós-colheita da nectarina Sunred. Os frutos colhidos no início do amadurecimento, selecionados, limpos, pré-resfriados (4°C por 12 horas) foram submetidos a doses de radiação de 0,0; 0,2; 0,4; 0,6 e 0,8 kGy, e em seguida armazenados em câmara fria a 0°C e 90-95% de UR, por 28 dias. Após o período, a dose de 0,4 kGy destacou-se por preservar melhor o aspecto visual, reduzir a perda de massa e manter maior firmeza, sem causar alterações significativas nos teores de acidez total titulável, sólidos solúveis e na relação SS/ATT, indicando sua eficácia na conservação da nectarina.

Diversos estudos têm demonstrado a alta eficiência da irradiação na redução do crescimento microbiano (NAKAJIMA et al., 2004; CHEN et al., 2016; MANZOCCO et al., 2011). Por exemplo, Chen et al. (2016) avaliaram os efeitos da combinação de ácido cítrico e radiação UV-C na qualidade de maçãs frescas cortadas, visando a conservação pós-colheita. Os tratamentos com ácido cítrico (CA), UV-C isolado e a combinação CA + UV-C, reduziram a contagem bacteriana em 1,5, 2,1 e 2,6 log UFC/g, respectivamente, além de retardarem o crescimento microbiano durante o armazenamento. Dentre eles, o tratamento combinado foi o que apresentou a menor taxa de crescimento microbiano. Esses resultados evidenciam que a radiação UV-C representa uma alternativa promissora para o controle microbiológico e preservação das características sensoriais dos produtos, além de estender a vida útil, contribuindo significativamente para um consumo seguro e a redução das perdas pós-colheita.

4.3.3 Limitações do uso da irradiação na pós-colheita

Apesar da aprovação e regulamentação do uso da irradiação como uma tecnologia promissora na conservação e na garantia de um consumo seguro, existem limitações que atrapalham o seu desenvolvimento de forma satisfatória, apesar dos vários estudos ligados aos benefícios e segurança do uso dessa tecnologia.

Algumas dificuldades estão relacionadas à percepção e aceitação dos consumidores (ORNELLAS et al., 2006), uma vez que a sociedade tende a preferir alimentos nos quais já confia, como aqueles naturais ou processados por métodos tradicionais, demonstrando certa desconfiança em relação a produtos processados com tecnologias que lhes são pouco familiares (HUOTILAINEN; TUORILA, 2005).

Levy et al. (2018) destacam que a percepção de risco da sociedade sobre alimentos irradiados difere significativamente da visão da comunidade científica. O público costuma temer o desconhecido e interpreta erroneamente os possíveis malefícios da tecnologia nuclear para a saúde e o meio ambiente, influenciando suas decisões de compra. Além disso, o público geralmente desconhece as medidas de proteção radiológica aplicadas no uso da radiação ionizante, especialmente na irradiação de alimentos.

Fox et al. (2002) aponta que os consumidores tendem a reagir negativamente ao consumo de alimentos irradiados, associando-os a um risco aumentado de câncer. Essa percepção é reforçada pela exposição a informações negativas divulgadas por opositores da irradiação alimentar, o que faz a comercialização de produtos irradiados crescerem lentamente, devido a essas interpretações equivocadas (DECONTE et al., 2022).

O uso da irradiação em frutas pode apresentar algumas desvantagens relacionadas à dose aplicada, impactando diretamente características sensoriais importantes, como textura, cor, aroma e sabor (RODRIGUES, 2014; LIMA et al., 2001; CHEN et al., 2016; CHITARRA; CHITARRA, 1990). Entre os efeitos adversos frequentemente observados estão o escurecimento, o amolecimento, a perda significativa de massa, parâmetros químicos e a redução do teor de vitaminas essenciais (BALBINOT FILHO et al., 2020; CHITARRA; CHITARRA, 1990; RODRIGUES, 2014; LIMA et al., 2001). Além disso, tais alterações impactam significativamente a aceitabilidade do produto pelo consumidor, pois afetam diretamente atributos sensoriais e nutricionais essenciais.

Modificações na aparência, como escurecimento e perda de cor, podem gerar

a impressão de que o alimento está deteriorado, enquanto alterações na textura, aroma e sabor comprometem a experiência sensorial esperada. Além disso, a redução do teor de vitaminas e nutrientes essenciais pode ser percebida como uma diminuição na qualidade e no valor nutritivo do alimento. Por isso, torna-se fundamental o controle rigoroso das condições de irradiação para garantir um equilíbrio entre a segurança do alimento e a preservação da qualidade nutricional e sensorial, assegurando frutos irradiados que atendam às expectativas do consumidor e do mercado.

Em síntese, o conceito, as aplicações e as principais limitações da irradiação na fase pós-colheita, conforme discutido nos tópicos anteriores, estão condensados no Quadro 3.

Quadro 3 : Resumo da Irradiação.

Tecnologia	Conceito	Aplicações Pós-Colheita	Limitações
Irradiação	Processo tecnológico que submete alimentos a radiação ionizante de forma controlada para inativar microrganismos e estender sua vida útil.	Inibição de brotamentos e retardo da taxa respiratória de frutas, controle microbiológico, eliminando insetos, parasitas, bactérias patogênicas e fungos, preservação da qualidade, mantendo a firmeza, sabor, cor e valor nutricional.	Não aceitação do consumidor e impacto sensorial em doses altas

Fonte: A autora, 2025.

4.4 Análise crítica sobre as tecnologias

Embora as três tecnologias sejam reconhecidas como relevantes, o plasma frio recebe destaque especial por reunir atributos que o tornam uma solução ideal frente às exigências atuais do mercado. Ele se sobressai como a alternativa mais promissora para a conservação de alimentos pós-colheita, principalmente por ser um processo não térmico capaz de inativar microrganismos sem recorrer a altas temperaturas. Dessa forma, preserva as propriedades sensoriais e nutricionais dos produtos, respondendo diretamente à crescente demanda dos consumidores por alimentos de alta qualidade e livres de resíduos químicos. Além disso, atua como um método de esterilização de alimentos que não produz resíduos, com tempos de processamento reduzidos e caráter sustentável.

Apesar da importância reconhecida da nanotecnologia e da irradiação, o plasma frio emerge como a alternativa com menor resistência para aplicação imediata. Em

resumo, enquanto a nanotecnologia enfrenta sérios desafios éticos e de segurança a serem resolvidos (como a toxicidade e a ausência de regulamentações), e a irradiação luta contra a forte percepção negativa e a desconfiança do público, o plasma frio é apresentado como uma solução eficaz que preserva a qualidade, elimina microrganismos e é livre de resíduos, características que, juntas, o tornam o mais promissor no contexto da segurança dos alimentos e sustentabilidade.

Os fundamentos teóricos que sustentam essa análise encontram respaldo nos estudos apresentados no Quadro 4 (Relação dos principais trabalhos científicos utilizados na construção do referencial teórico sobre as tecnologias abordadas). Esses trabalhos oferecem uma base sólida para reconhecer o plasma frio como a tecnologia-chave capaz de atender às atuais demandas do mercado por processos limpos, eficazes e sustentáveis. Assim, a consolidação das evidências científicas reforça sua posição como a alternativa mais promissora para a conservação pós-colheita, alinhando eficiência microbiológica, preservação da qualidade nutricional e sensorial, além de contribuir para práticas de processamento ambientalmente responsáveis.

Quadro 4 – Relação dos principais trabalhos científicos utilizados no desenvolvimento do referencial teórico sobre as tecnologias citadas.

Ano	Autores	Título do Trabalho	Tecnologia
1928	LANGMUIR	Oscillations in Ionized Gases.	Plasma Frio
1953	WATSON; CRICK	Molecular structure of nucleic acids: a structure for deoxyribose nucleic acid.	Nanotecnologia
1990	CHITARRA; CHITARRA	Pós-colheita de frutas e hortaliças.	Irradiação
2001	LIMA et al.	Efeito da irradiação ionizante gamma na qualidade pós-colheita de cenouras (<i>Daucus carota</i> L.) cv.Nantes.	Irradiação
2002	NEVES et al.	Caracterização do comportamento da radiação gama na conservação pós-colheita da nectarina cv. "Sunred".	Irradiação
2005	CREDE	Estudos dos efeitos da radiação gama e de aceleradores de elétrons na detecção de grãos de milho (<i>Zea mays</i>) geneticamente modificado.	Irradiação
2009	IOM - INSTITUTE OF MEDICINE.	Nanotecnologia em produtos alimentícios: resumo do workshop.	Nanotecnologia
2010	SEKHON	Food nanotechnology – an overview.	Nanotecnologia
2014	RODRIGUES	Avaliação da irradiação como método de conservação pós-colheita de mini tomates e concepção da opinião de consumidores sobre alimentos irradiados.	Irradiação
2016	CHEN et al.	Effect of citric acid combined with UV-C on the quality of fresh-cut apples.	Irradiação
2017	SARANGAPANI et al.	Atmospheric cold plasma dissipation efficiency of agrochemicals on blueberries.	Plasma Frio
2018	PANKAJ et al.	Effects of cold plasma on food quality: a review.	Plasma Frio
2019	DONAHUE et al.	Concepts of nanoparticle cellular uptake, intracellular trafficking, and kinetics in nanomedicine.	Nanotecnologia
2020	ZIUZINA et al.	Investigation of a large aperture cold plasma reactor for continuous in-package decontamination of fresh strawberries and spinach.	Plasma Frio
2021	NEME et al.	Application of nanotechnology in agriculture, postharvest loss reduction and food processing: food security implication and challenges.	Nanotecnologia
2021	MERLIN; LI	Role of nanotechnology and their perspectives in the treatment of kidney diseases.	Nanotecnologia
2021	ZHANG et al.	Effects of in package atmospheric cold plasma treatment on the qualitative, metabolic and microbial stability of fresh cut pears.	Plasma Frio
2023	SOUSA et al.	Nanotechnology in packaging for food industry: Past, present, and future.	Nanotecnologia
2024	NIKZADFAR et al.	Application of cold plasma technology on the postharvest preservation of in-packaged fresh fruit and vegetables: recent challenges and development.	Plasma Frio
2020	BALBINOT FILHO; BORGES	Effects of UV-C radiation on minimally processed lettuce and apple: a review.	Irradiação

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise das tecnologias emergentes aplicadas à conservação pós-colheita evidencia um cenário promissor para o desenvolvimento da cadeia produtiva agrícola. Diante dos desafios de perdas, contaminações e exigências crescentes do mercado, recursos como a nanotecnologia, o plasma frio e a irradiação se mostram capazes de redefinir práticas tradicionais, oferecendo soluções mais eficazes, sustentáveis e alinhadas às demandas por qualidade e segurança no consumo.

A nanotecnologia demonstrou grande versatilidade, com aplicações que vão desde nanorevestimentos e embalagens inteligentes até sensores capazes de monitorar em tempo real as condições dos alimentos. Seus benefícios incluem a preservação de atributos sensoriais, o controle microbiológico e a redução do desperdício. No entanto, questões relacionadas à toxicidade de nanopartículas, à ausência de regulamentações específicas e à percepção pública ainda limitam sua ampla adoção.

O plasma frio, por sua vez, mostrou-se eficaz na descontaminação de superfícies, na degradação de resíduos de pesticidas e na modificação de embalagens, sem comprometer significativamente as características dos alimentos. Apesar de seu alto potencial, essa tecnologia exige controle rigoroso de parâmetros operacionais e apresenta custos elevados, o que pode dificultar sua implementação em larga escala.

A irradiação, consolidada como técnica segura e regulamentada, revelou-se eficiente na eliminação de microrganismos, no controle de pragas e na preservação da qualidade sensorial e nutricional dos alimentos. Ainda assim, a aceitação do consumidor permanece como um obstáculo, influenciada por percepções equivocadas sobre os riscos da radiação.

Comparativamente, a nanotecnologia se sobressai pela versatilidade e inovação, trazendo soluções avançadas para monitoramento e conservação dos alimentos. O plasma frio destaca-se pela sustentabilidade, atuando sem deixar resíduos químicos, o que o torna uma opção ambientalmente amigável. Já a irradiação é reconhecida pela eficácia na segurança microbiológica, apoiada por amplo respaldo científico e regulamentar.

Apesar de suas limitações e desvantagens, essas tecnologias compartilham a necessidade de um controle rigoroso dos processos e de uma comunicação clara e

transparente com os consumidores, fatores essenciais para garantir sua aceitação e aplicação segura em toda a cadeia produtiva. A superação dessas limitações está intrinsecamente ligada à sustentabilidade, pois a correta utilização, em conformidade com normas e padrões de segurança, potencializa benefícios como a redução do desperdício e minimiza riscos. Assim, o avanço tecnológico contribui de forma efetiva e responsável para a segurança alimentar e para a preservação ambiental.

Nesse contexto, essas tecnologias não apenas reforçam práticas sustentáveis, mas também oferecem soluções complementares e inovadoras para os desafios da pós-colheita. A adoção responsável e estratégica dessas ferramentas, aliada ao avanço das pesquisas e ao desenvolvimento de regulamentações claras, pode transformar significativamente o setor agrícola, promovendo maior sustentabilidade, segurança no consumo e eficiência em toda a cadeia produtiva

REFERÊNCIAS

- ABRAE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM. **Embalagens inteligentes: como elas podem beneficiar consumidores e varejistas**. São Paulo, 2019. Disponível em: <https://www.abre.org.br/inovacao/design-de-embalagem/embalagens-inteligentes-como-el-as-podem-beneficiar-consumidores-e-varejistas/>. Acesso em: 30 nov. 2025.
- ALMEIDA, A. P. **Avaliação da influência do processo de irradiação em especiarias utilizando a técnica de difração de Raios X**. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Nuclear) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.
- AN, J.; ZHANG, M.; WANG, S.; TANG, J. Physical, chemical and microbiological changes in stored green asparagus spears as affected by coating of silver nanoparticles-PVP. **LWT – Food Science and Technology**, v. 41, n. 6, p. 1100–1107, 2008.
- ANDRIGUETO, J. R.; KOSOSKI, A. R. **Marco legal da produção integrada de frutas do Brasil**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), Secretaria de Apoio Rural e Cooperativismo, 2002. 60p.
- ASSIS, O. B. G. Potenciais aplicações de nanotecnologia em alimentos. In: MELO, E. A.; LIMA, J. R.; LIMA, M. A. C. (Orgs.). **Tecnologias pós-colheita em frutas e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa, 2011. Cap. 11, p. 195-206. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/902660/1/Cap.11Potenciaisaplicacoesdenanotecnologiaemalimentos.pdf>. Acesso em: 21 set. 2025.
- BAI, Y.; CHEN, J.; YANG, Y.; GUO, L.; ZHANG, C. Degradation of organophosphorus pesticide induced by oxygen plasma: effects of operating parameters and reaction mechanisms. **Chemosphere**, v. 81, n. 4, p. 408–414, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.06.071>. Acesso em: 25 out. 2025.
- BALBINOT FILHO, C. A.; BORGES, C. D. Effects of UV-C radiation on minimally processed lettuce and apple: a review. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, e2018321, p. 1 - 11, 2020.
- BARANOWASKA-WÓJCIK, E.; SZCZEPANIAK, K.; CZARNECKA, J.; ROJOWSKA, A.; KOSIOR-KORZEC, J. Nanotechnology and nanomaterials in the strategy for the treatment of neoplastic diseases. **Microscopie**, v. 31, n. 1, p. 1-7, 2020.
- BARASAN, P. Reduction of *Aspergillus parasiticus* on hazelnut surface by UV-C treatment. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 44, n. 9, p. 1857–1863, 2009.
- BARROS, P. N.; SILVA, A. P.; SANTOS, M. R.; SOUZA, A. L. B. Aspectos de qualidade de manga ‘Tommy Atkins’ do mercado atacadista de Juazeiro-BA. In: CONGRESSO NORTE-NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 5., 2010, Maceió, AL. **Anais**. Maceio: Instituto Federal, 2010.

BEYER, D. L.; JACH, T. E.; ZAK, D. L.; JEROME, R. A.; DEBRINCAT, F. P. Edible products having inorganic coatings. Depositante: Mars, Inc. **US n. 5741505**. 1998. Disponível em: <https://patentimages.storage.googleapis.com/6c/de/94/7214a951e43db1/US5741505.pdf>. Acesso em: 19 set. 2025.

BOARATTI, M. F. G. **Análise de perigos e pontos críticos de controle para alimentos irradiados no Brasil**. 2004. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade de São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2004.

BORGES, A. **Avaliação bacteriológica da lingüiça de frango frescal submetida à radiação gama**. 66 f. Monografia (Especialização em Irradiação de Alimentos) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2002.

BRADFORD, R.; LOAHARANV, P. A harmonized approach to regulating food irradiation based on groups of foods. In: WHO/IAEA/FAO SEMINAR ON HARMONIZATION OF REGULATIONS ON FOOD IRRADIATION IN ASIA AND THE PACIFIC, **Anais...** Kuala Lumpur, Jan./Mar. 1993. IAEA – TECDOC – 696, p. 155–160.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução RDC nº 21, de 26 de janeiro de 2001**. Aprova o Regulamento Técnico para Irradiação de Alimentos. Diário Oficial da União, Brasília, 29 jan. 2001. Disponível em: https://bvs.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2001/rdc0021_26_01_2001.html. Acesso em: 1 out. 2025.

BRATOVIČIĆ, A.; ODOBASIC, A.; CATIC, S.; SESTAN, I. Application of polymer nanocomposite materials in food packaging. **Croatian Journal of Food Science and Technology**, v. 7, n. 2, p. 86–94, 2015.

BURM, K. T. A. L. Plasma: The fourth state of matter. **Plasma Chemistry and Plasma Processing**. v. 32, n. 2, p. 401–407, 2012. doi: 10.1007/s11090-012-9356-1.

CHAROUX, C. M.; PATANGE, A. D.; HINDS, L. M.; SIMPSON, J. C.; O'DONNELL, C. P.; TIWARI, B. K. Antimicrobial effects of airborne acoustic ultrasound and plasma activated water from cold and thermal plasma systems on biofilms. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1–10, 2020.

CHAROUX, C. M. G.; PATANGE, A.; LAMBA, S.; O'DONNELL, C. P.; TIWARI, B. K.; SCANNELL, A. G. M. Applications of non-thermal plasma technology in the safety and quality of dry food ingredients. **Journal of Applied Microbiology**, v. 130, n. 2, p. 325–340, 2021.

CHEN, C.; HU, W.; HE, Y.; JIANG, A.; ZHANG, R. Effect of citric acid combined with UV-C on the quality of fresh-cut apples. **Postharvest Biology and Technology**, v. 111, n. 1, p. 126–131, 2016.

CHENG, M. M. C.; CUDA, G.; BUNIMOVICH, Y. L.; GASPARI, M.; HEATH, J. R.;

HILL, H. D.; MIRKIN, C. A.; NIJDAM, A. J.; TERRACCIANO, R.; THUNDAT, T. Nanotechnologies for biomolecular detection and medical diagnostics. **Current Opinion in Chemical Biology**, v. 10, n. 1, p. 11–19, 2006.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças**. Lavras: FAEPE, 1990. 293p.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. rev. amp. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2005. 783p.

CLARÍN. **Embotellaron el plasma más frío del mundo**. Buenos Aires, 2021. Disponível em: https://www.clarin.com/viste/embotellaron-plasma-frio-mundo_0_6xbgKH64I.html. Acesso em: nov. 2025.

COUTINHO, N. M.; SILVEIRA, M. R.; ROCHA, R. S.; MORAES, J.; FERREIRA, M. V. S.; PIMENTEL, T. C.; CRUZ, A. G. Cold plasma processing of milk and dairy products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 74, n. 2, p. 56–68, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.02.008>. Acesso em: 23 abr. 2025.

COUTO, R. R.; SANTIAGO, A. J. Radioatividade e irradiação de alimentos. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 12, n. 2, p. 193–215, 2010.

CREDE, R. G. **Estudos dos efeitos da radiação gama e de aceleradores de elétrons na detecção de grãos de milho (*Zea mays*) geneticamente modificado**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

DASGUPTA, N.; RANJAN, S.; MUNDEKKAD, D.; RAMALINGAM, C.; SHANKER, R.; KUMAR, A. Nanotechnology in agro-food: From field to plate. **Food Research International**, v. 69, p. 381-400, 2015. DOI: 10.1016/j.foodres.2015.01.005.

DECONTE, S. R.; SOUZA, D. S.; FRANCO, A. B.; CARVALHO, E. B.; SOUZA, D. M.; CASTRO, I. C. **Processo de irradiação em alimentos: funcionamento e segurança**. UNIFASC – Faculdade Santa Rita de Cássia, 2022. 12p. Disponível em: <https://unifasc.edu.br/wp-content/uploads/2022/04/Processo-de-irradiacao-em-alimentos-Danielle1.pdf>. Acesso em: 31 out. 2025.

DONAHUE, N. D.; ACAR, H.; XUE, P. X.; ZHONG, L.; MAI, J.; DING, W.; MINEV, S. M.; CAPPELEN, P. G.; WILHELM, S. Concepts of nanoparticle cellular uptake, intracellular trafficking, and kinetics in nanomedicine. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 143, p. 68-96, 2019. doi: 10.1016/j.addr.2019.04.008.

ESTADOS UNIDOS. Food and Drug Administration (FDA). Section 179.26: Ionizing radiation for the treatment of food. In: **CODE OF FEDERAL REGULATIONS: FOOD AND DRUGS, TITLE 21**. Washington, D.C.: U.S.Gov. Printing Office, 1995. p. 389-390.

FAROOQ, S.; DAR, A. H.; DASH, K. K.; SRIVASTAVA, S.; PANDEY, V. K.; AYOUB, W. S.; PANDISELVAM, R.; MANZOOR, S.; KAUR, M. Cold plasma treatment

advancements in food processing and impact on the physiochemical characteristics of food products. **Food Science and Biotechnology**, v. 32, n. 5, p. 621–638, 2023.

FDA – Food and Drug Administration. **Food irradiation – What you need to know**. Food Facts from the U.S. Food and Drug Administration, 2011. Disponível em: <https://www.fda.gov/food/buy-store-serve-safe-food/food-irradiation-what-you-need-know>. Acesso em: 1 out. 2025

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602p.

FENG, X.; MA, X.; LIU, H.; XIE, J.; HE, C.; FAN, R. Argon plasma effects on maize: pesticide degradation and quality changes. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n.11, p. 5491–5498, 2019.

FOX, J. A.; HAYES, D. J.; SHOGREN, J. F. Consumer preferences for food irradiation: how favorable and unfavorable descriptions affect preferences for irradiated pork in experimental auctions. **Journal of Risk and Uncertainty**, v. 24, n. 1, p. 75-95, 2002.

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B.; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações**. São Paulo: Nobel, 2009. 511p.

GAVAHIAN, M.; PALLARES, N.; AL KHAWLI, F.; FERRER, E.; BARBA, F. J. Recent advances in the application of innovative food processing technologies for mycotoxins and pesticide reduction in foods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 106, n. 2, p. 209–218, 2020.

GUERRA, I. C. **Desenvolvimento de filme e revestimento à base de pectina do pequi incorporado de nanopartículas de ZnO e aplicação em pós-colheita de manga**. 2021. 92 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, Rio Verde, 2021.

HARIKRISHNA, S.; ANIL, P. P.; SHAMS, R.; DASH, K. K. Cold plasma as an emerging nonthermal technology for food processing: A comprehensive review. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 14, n. 1, p. 100747, 2023.

HENZ, G. P. Perdas pós-colheita de hortícolas no Brasil: o que sabemos até agora? **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 6–13, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0102-053620170102>. Acesso em: 23 abr. 2025.

HOFFMANN, C.; BERGANZA, C.; ZHANG, J. Cold Atmospheric Plasma: methods of production and application in dentistry and oncology. **Medical Gas Research**, v. 3, n. 21, p. 1-15, 2013.

HU, X.; SUN, H.; YANG, X.; CUI, D.; WANG, Y.; ZHUANG, J.; JIAO, Z. Potential use of atmospheric cold plasma for postharvest preservation of blueberries. **Postharvest Biology and Technology**, v. 179, n. 4, p. 111564, 2021. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2021.111564.

HUOTILAINEN, A.; TUORILA, H. Social representation of new foods has a stable structure based on suspicion and trust. **Food Quality and Preference**, v. 16, n. 7, p. 565–572, 2005.

IOM - INSTITUTE OF MEDICINE. **Nanotecnologia em produtos alimentícios**: resumo do workshop. Washington, DC: The National Academies Press, 2009. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=ZO5jAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&ots=R5FlxJzHQ3&sig=FaOIATKQBYZqvzecrACtOaK2kOc&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 19 set. 2025.

KALITA, D.; BARUAH, S. The impact of nanotechnology on food. In: **Nanomaterials applications for environmental matrices**. Amsterdam: Elsevier, 2019. p. 369–379.

KIM, J.; MIN, S. C. Inactivation of foodborne pathogens in onion flakes using cold plasma treatment combined with vaporization. **Food Control**, v. 89, p. 228–235, 2018.

LANGMUIR, I. Oscillations in Ionized Gases. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 14, n. 8, p. 627–637, 1928.

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, n. 110748, p. 1-24, 2021. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2021.110748.

LEVY, D.; SORDI, G. M. A. A.; VILLAVICENCIO, A. Construindo pontes entre ciência e sociedade: divulgação científica sobre irradiação de alimentos. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, v. 6, n. 1, p. 1-13, 2018.

LIMA, K. S. C.; GROSSI, J. L. S.; LIMA, A. L. S.; ALVES, P. F. M. P.; CONEGLIAN, R. C. C.; GODOY, R. L. O.; SABAA-SRUR, A. U. O. Efeito da irradiação ionizante y na qualidade pós-colheita de cenouras (*Daucus carota L.*) cv. Nantes. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 2, p. 202-208, 2001.

MACIEL, B.; GUIMARÃES, P. Investimentos em nanotecnologia no Brasil: análise da política pública e dos resultados. **Revista de Estudos em Inovação**, v. 18, n. 1, p. 101-125, 2020.

MALAKAR, A.; KANEL, S. R.; RAY, C.; SNOW, D. D.; NADAGOUDA, M. N. Nanomaterials in the environment, human exposure pathway, and health effects: A review. **Science of the Total Environment**, v. 759, n. 143470, p. 1-76, 2021.

MANZOCCO, L.; CALLIGARIS, S.; CECCHERINI, M. T.; CATANIA, C.; MARI, M.; NICOLAI, B. Descontaminação superficial de maçã minimamente processada por exposição à luz UV-C: efeitos sobre a estrutura, cor e propriedades sensoriais. **Postharvest Biology and Technology**, v. 61, n. 2, p. 165–171, 2011.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de pesquisa**: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisas, elaboração, análise e interpretação de dados. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2007. 280p.

MERLIN, J. P. J.; LI, X. Role of nanotechnology and their perspectives in the treatment of kidney diseases. **Frontiers in Genetics**, v. 12, n. 817974, p.1-22, 2021.

MILLER, G.; SENJEN, R. **Out of the laboratory and on to our plates:** nanotechnology in food & agriculture. Melbourne: Friends of the Earth Australia, 2008. 64p.

MISRA, N. N.; MOISEEV, T.; PATIL, S.; PANKAJ, S. K.; BOURKE, P.; MOSNIER, J. P.; CULLEN, P. J. Cold plasma in modified atmospheres for post-harvest treatment of strawberries. **Food and Bioprocess Technology**, v. 7, n. 10, p. 3045–3054, 2014. DOI: 10.1007/s11947-014-1356-0.

MOHR, L. C.; CAPELEZZO, A. P.; BARETTA, C. R. D. M.; MARTINS, M. A. P. M.; FIORI, M. A.; MELLO, J. M. M. Titanium dioxide nanoparticles applied as ultraviolet radiation blocker in the polylactic acid biodegradable polymer. **Polymer Testing**, v. 77, n. 105878, p. 1-10, 2019.

MOUSAVI, S. M.; IMANI, S.; DORRANIAN, D.; LARIJANI, K.; SHOJAEI, M. Effect of cold plasma on degradation of organophosphorus pesticides used on some agricultural products. **Journal of Plant Protection Research**, v. 57, n. 1, p. 25–35, 2017.

MOZAFARI, M. R.; JOHNSON, C.; HATZIANTONIOU, S.; DEMETZOS, C. Nanoliposomes and their application in food nanotechnology. **Journal of Liposome Research**, London, v. 18, n. 4, p. 309–327, 2008.

MUKHTAR, K.; NABI, B. G.; ARSHAD, R. N.; ROOBAB, U.; YASEEN, B.; RANJHA, M. M. A. N.; AADIL, R. M.; IBRAHIM, S. A. Potential impact of ultrasound, pulsed electric field, high-pressure processing and microfluidization against thermal treatments preservation regarding sugarcane juice (*Saccharum officinarum*). **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 90, n. 106194, p. 1-14, 2022. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2022.106194.

NAKAJIMA, S.; LANIER, L. M.; WANG, Y.; YAMAMOTO, K.; SUGIMOTO, T. UV light-induced DNA damage and tolerance for the survival of nucleotide excision repair-deficient human cells. **Journal of Biological Chemistry**, v. 279, n. 47, p. 48886–48893, 2004.

NEME, K.; NAFADY, A.; UDDIN, S.; TOLA, Y. B. Application of nanotechnology in agriculture, postharvest loss reduction and food processing: food security implication and challenges. **Heliyon**, v. 7, n. 9, e07830, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844021026426>. Acesso em: 20 set. 2025.

NEVES, L. C.; DURIGAN, J. F.; PURQUERIO, L. F. V.; VIEITES, R. L. Caracterização do comportamento da radiação gama na conservação pós-colheita da nectarina cv. "Sunred". **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 3, p. 614–617, 2002.

NIKZADFAR, M.; KAZEMI, A.; ABOOEI, R.; ABBASZADEH, R.; SOLTANI FIROUZ, M.; AKBARNIA, A.; RASHVAND, M. Application of cold plasma technology on the postharvest preservation of in-packaged fresh fruit and vegetables: recent challenges and development. **Food and Bioprocess Technology**, v. 17, n. 12, p. 4473–4505, 2024.

O'BEIRNE, D. Irradiation of fruits and vegetables: applications and issues. **Professional Horticulture**, v. 3, n. 1, p. 12-19, 1989.

ORNELLAS, C. B. D.; GONÇALVES, M. P. J.; SILVA, P. R.; MARTINS, R. T. Atitude do consumidor frente à irradiação de alimentos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 1, p. 211–213, 2006.

PAGLIARIM, L. S. **Aplicação do plasma frio em superfícies de morango: avaliação dos efeitos nas características físico-químicas e no desenvolvimento fúngico**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/248965>. Acesso em: 23 jul. 2025.

PANKAJ, S. K.; WAN, Z.; KEENER, K. M. Effects of cold plasma on food quality: a review. **Foods**, v. 7, n. 4, p. 1-21, 2018.

PASTEUR, L. **Études sur le vin: ses maladies, causes qui les provoquent, procédés nouveaux pour le conserver et pour le vieillir**. Paris: Gauthier-Villars, 1866.

PHAN, K. T. K.; PHAN, H. T.; BOONYAWAN, D.; INTIPUNYA, P.; BRENNAN, C. S.; REGENSTEIN, J. M.; PHIMOLSIRIPOL, Y. Non-thermal plasma for elimination of pesticide residues in mango. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 48, p. 164–171, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.06.009>.

PRESTES, F. Irradiação: definitivamente uma tecnologia agrícola. **Revista da ABBA (Associação Brasileira da Batata)**, v. 5, n. 4, p. 1-2, 2002.

RODRIGUES, A. **Avaliação da irradiação como método de conservação pós-colheita de mini tomates e concepção da opinião de consumidores sobre alimentos irradiados**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências dos Alimentos) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2014. Disponível em: <https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/e960bc84-5030-49e7-a98f-f8be994fe3c5/TCCAlanaR.pdf>. Acesso em: 24 out. 2025.

ROSA, C. I. L.F.; MORIBE, A. M.; YAMAMOTO, L. Y.; SPERANDIO, D. Pós-colheita e comercialização. In: BRANDÃO FILHO, J. U. T., FREITAS, P. S. L.; BERIAN, L. O. S.; GOTO, R. (Comps.) **Hortaliças-fruto**. Maringá: EDUEM, 2018, p. 489-526. <https://doi.org/10.7476/9786586383010.0017>.

SADEGHI, R.; RODRIGUEZ, R. J.; YAO, Y.; KOKINI, J. L. Avanços na nanotecnologia no que diz respeito à alimentação e à agricultura: benefícios e riscos.

Annual Review of Food Science and Technology, v. 8, p. 467–492, 2017.

SARANGAPANI, C.; MISRA, N. N.; MILOSAVLJEVIC, V.; BOURKE, P.; O'REGAN, F.; CULLEN, P. J. Pesticide degradation in water using atmospheric air cold plasma. **Journal of Water Process Engineering**, v. 9, n. 2, p. 225–232, 2016.

SARANGAPANI, C.; O'TOOLE, G.; CULLEN, P. J.; BOURKE, P. Atmospheric cold plasma dissipation efficiency of agrochemicals on blueberries. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 44, n. 3, p. 235–241, 2017.

SCHOLTZ, V.; PAZLAROVA, J.; SOUSKOVA, H.; KHUN, J.; JULAK, J. Nonthermal plasma — A tool for decontamination and disinfection. **Biotechnology Advances**, v. 33, n. 6, p. 1108–1119, 2015.

SEKHON, B. S. Food nanotechnology – an overview. **Nanotechnology Science and Application**, v. 3, n. 1, p. 1-15, 2010.

SILVA, B. A.; DA SILVA, N. C.; SCUSSEL, V. M.; TRIBUZI, G. Princípios de funcionamento e as vantagens / desvantagens do uso de plasma frio na indústria de alimentos. In: SIMPÓSIO ONLINE SULAMERICANO DE TECNOLOGIA, ENGENHARIA E CIÊNCIA DE ALIMENTOS, 1., 2022, Diamantina (MG). **Anais**. Diamantina (MG): Even3, 2022. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/tecali2021/483999-principios-de-funcionamento-e-as-vantagens--desvantagens-do-uso-de-plasma-frio-na-industria-de-alimentos>. Acesso em: 31 out. 2025.

SINGH, H.; BLENNOW, A.; GUPTA, A. D.; KAUR, P.; DHILLON, B.; SODHI, N. S.; DUBEY, P. K. Luz pulsada, campo elétrico pulsado e modificação de amidos por plasma frio: avanços tecnológicos e efeitos nas propriedades funcionais. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 16, n. 3, p. 1–18, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11694-022-01487-y>. Acesso em: 25 out. 2025.

SOUSA, M.; SCHLOGL, A. E.; ESTANISLAU, F. R.; SOUZA, V. G. L.; COIMBRA, J. S. R.; SANTOS, I. J. B. Nanotechnology in packaging for food industry: Past, present, and future. **Coatings**, v. 13, n. 8, 1411, 2023. <https://doi.org/10.3390/coatings13081411>

SOZER, N.; KOKINI, J. L. Nanotechnology and its applications in the food sector. **Trends in Biotechnology**, v. 27, n. 2, p. 82–89, 2009.

SRUTHI, N. U.; JOSNA, K.; PANDISELVAM, R.; KOTHAKOTA, A.; GAVAHIAN, M.; KHANEGHAH, A. M. Impacts of cold plasma treatment on physicochemical, functional, bioactive, textural, and sensory attributes of food: A comprehensive review. **Food Chemistry**, v. 368, n. 130809, p. 1-18, 2022.

STAIANO, M.; VARRIALE, A.; ROSSI, M.; LIO, G. B.; D'AURIA, S. Nanostructured silver-based surfaces: new emergent methodologies for an easy detection of analytes. **ACS Applied Materials & Interfaces**, v. 1, n. 12, p. 2731-2736, 2009.

STRANSKA, M.; PRUSOVA, N.; BEHNER, A.; DZUMAN, Z.; LAZAREK, M.;

TOBOLKOVA, A.; CHRPOVA, J.; HAJŠLOVA, J. Influence of pulsed electric field treatment on the fate of Fusarium and Alternaria mycotoxins present in malting barley. **Food Control**, v. 145, n. 109440, p. 1-10, 2023. doi: 10.1016/j.foodcont.2022.109440.

SUBRAHMANYAM, A.; KUMAR, K. J.; KUMAR, S.; KUMAR, S.; KUMAR, M.; KUMAR, P.; KUMAR, R.; KUMAR, V.; KUMAR, A.; KUMAR, D. Impact of in-package cold plasma treatment on the physicochemical properties and shelf life of button mushrooms (*Agaricus bisporus*). **Journal of Food and Drug Analysis**, v. 31, n. 2, p. 293–304, 2023.

TERAO, D.; CAMPOS, J. S. C.; BENATO, E. A.; HASHIMOTO, J. M. Alternative strategy on control of postharvest diseases of mango (*Mangifera indica* L.) by use of low dose of ultraviolet-C irradiation. **Food Engineering Reviews**, v. 7, n. 2, p. 171–175, 2015.

VENÂNCIO, A. H.; SILVA, M. A. Da.; SILVA, M. S.; GONÇALVES, M. C.; BALDUINO, B. A.; GOMES, M. E. S.; PICCOLI, R. H. Emprego da nanotecnologia em embalagens de alimentos e possíveis efeitos negativos para a saúde: uma revisão. In: SEMANA DE ALIMENTOS – SEMAL, 7., 2025, Morrinhos, GO. Avanços e Pesquisas em Ciência dos Alimentos: Novas Tendências e Aplicações. **Anais**. Morrinhos, GO: Agronfy, 2025. Disponível em: <https://agronfy.com.br/emprego-da-nanotecnologia-em-embalagens-de-alimentos-e-possiveis-efeitos-negativos-para-a-saude-uma-revisao>. Acesso em: 21 set. 2025.

VIEIRA, G. G. M. Irradiação ionizante em pós-colheita de atemoia cultivar ‘Thompson’. **Colloquium Agrariae**, v. 16, n. 5, p. 67–81, 2020.

WANG, J.; ZHUANG, H.; ZHANG, J. Inactivation of spoilage bacteria in package by dielectric barrier discharge atmospheric cold plasma—treatment time effects. **Food and Bioprocess Technology**, v. 9, p. 1648–1652, 2016.

WANG, R.; NIAN, W.; WU, H.; FENG, H.; ZHANG, K.; ZHANG, J.; ZHU, W.; BECKER, K.; FANG, J. Atmospheric pressure cold plasma treatment of contaminated fresh fruit and vegetable slices: inactivation and physicochemical properties evaluation. **European Physical Journal D**, v. 66, n. 276, p. 1-9, 2012. <https://doi.org/10.1140/epjd/e2012-30053-1>.

WATSON, J. D.; CRICK, F. H. C. Molecular structure of nucleic acids: a structure for deoxyribose nucleic acid. **Nature**, London, v. 171, n. 4356, p. 737–738, 1953.

XUE, M.; CHAI, X.; LI, X.; CHEN, R. Migration of organic contaminants into dry powdered food in paper packaging materials and the influencing factors. **Journal of Food Engineering**, v. 262, p. 75–82, 2019.

ZHANG, Y.; ZHANG, J.; ZHANG, Y.; HU, H.; LUO, S.; ZHANG, L.; I, P. Effects of in package atmospheric cold plasma treatment on the qualitative, metabolic and microbial stability of fresh cut pears. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, n. 11, p. 4473–4480, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.11085>.

ZIUZINA, D.; MISRA, N. N.; HAN, L.; CULLEN, P. J.; MOISEEV, T.; MOSNIER, J. P.; KEENER, K.; GASTON, E.; VILARÓ, I.; BOURKE, P. Investigation of a large aperture cold plasma reactor for continuous in-package decontamination of fresh strawberries and spinach. **Journal of Hazardous Materials**, v. 389, n. 122100, p. 1-11, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.122100>.