

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CURSO DE NUTRIÇÃO**

BIANCA RODRIGUES BICCA

UTILIZAÇÃO DO PLASMA NA SANITIZAÇÃO DE VEGETAIS

**Itaqui
2022**

BIANCA RODRIGUES BICCA

UTILIZAÇÃO DO PLASMA NA SANITIZAÇÃO DE VEGETAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Nutrição da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharela em Nutrição.

Orientador: Prof^aDr^a Paula Fernanda Pinto da Costa

**Itaqui
2022**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo (a) autor (a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

B583u Bicca, Bianca Rodrigues

Utilização do plasma na sanitização de vegetais
/ Bianca Rodrigues Bicca.

53 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) --
Universidade Federal do Pampa, NUTRIÇÃO, 2022.

"Orientação: Paula Fernanda Pinto da Costa".

1. Vegetais. 2. DBD (descarga de barreira
dielétrica). 3. Higienização. 4. Desinfecção. 5.
Microbiologia. I. Título.


BIANCA RODRIGUES BICCA

UTILIZAÇÃO DO PLASMA NA SANITIZAÇÃO DE ALIMENTOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Nutrição da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharela em Nutrição.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 10 de março de 2022.

Banca examinadora:



Profª Drª Paula Fernanda Pinto da Costa
Universidade Federal do Pampa



Profª Drª Fernanda Fiorda Mello
Universidade Federal do Pampa



Prof. Dr. Leomar Hackbart da Silva
Universidade Federal do Pampa

Dedico este trabalho a todos que sempre
estiveram comigo.

AGRADECIMENTO

À Deus, por ter me dado força e determinação nessa caminhada para realização deste trabalho e deste sonho que é ser Nutricionista.

A minha família, pelo apoio durante toda a jornada, pelo amor, companheirismo e incentivo em trabalhar sempre com dedicação e determinação.

Principalmente aos meus pais, que sempre acreditam no meu potencial. Pela dedicação incansável de todos os dias, em dar sempre o melhor de vocês a mim. Sou grata por todo o amor expresso em cuidado. Espero um dia retribuir um pouco de tudo que sonharam e dedicaram a mim.

A Prof^aDr^a Paula Fernanda da Costa Pinto, minha orientadora, pelo auxílio e as preciosas orientações, pela compreensão, confiança, incentivo e por toda a contribuição no desenvolvimento deste trabalho.

À Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) pelas oportunidades de ensino, acolhimento e por toda estrutura dada aos seus alunos.

Aos meus amigos pela amizade, ajuda e companheirismo durante toda a jornada. E por fim, a todos aqueles que de alguma forma contribuíram direta ou indiretamente para realização deste trabalho.

“As grandes ideias surgem da observação dos pequenos detalhes”.

Augusto Cury

RESUMO

O plasma é uma tecnologia não térmica de controle de microrganismos, que se apresenta como uma alternativa as técnicas convencionais de sanitização de vegetais. Este trabalho objetivou elaborar uma revisão bibliográfica sobre a utilização do plasma na sanitização de vegetais, procurando esclarecer, os seus mecanismos de atuação, potenciais e aplicações, efeitos sobre o controle microbiano e suas possíveis alterações nos alimentos, bem como sua disponibilidade no mercado. Para isso foram revisados estudos dos últimos 10 anos sobre o tema sanitização com plasma frio, buscando trabalhos científicos nas bases de dados Google Acadêmico, SCIELO, Periódico Capes e *Science Direct*, nos idiomas português e inglês. A partir desta pesquisa observou-se que o plasma é o quarto estado da matéria, formado a partir da aplicação de energia a uma mistura de gases onde é usando energia mecânica, térmica, química e/ou radiante, logo causando a ionização do gás (baixa ou atmosférica) e a geração de espécies ativas, elétrons, radicais livres, íons, que atuam no controle de microrganismos. Dentre as principais formas de utilização, está o DBD (descarga por barreira dielétrica) e o plasma Jato, no entanto dentre os estudos observados o DBD foi mais encontrado nas pesquisas relacionadas a sanitização. O plasma frio representa uma técnica eficiente usada para descontaminação da superfície de frutas e adequada para diversas aplicações, especialmente para manter fitoquímicos e atributos de qualidade. Dentre as pesquisas que fazem parte desta revisão observou-se a aplicação do plasma principalmente em vegetais folhosos e frutas, sendo efetivo na redução da carga microbiana em aproximadamente 2,5 log UFC no controle de bactérias patogênicas, como *Salmonella* sp. e *Listeria monocytogenes* em frutos como manga, cereja, banana, tomate e pepino. No entanto, a redução da carga microbiana em vegetais folhosos como alface, repolho e espinafre foi em torno de 1,5 a 3 log UFC. Quanto as alterações observadas nos alimentos, a cor foi o principal atributo influenciado pelo uso desta técnica, quando utilizada em vegetais folhosos, porém em pesquisas que avaliaram alterações em frutos geralmente não são observadas mudanças significativas. Desta forma observa-se que futuramente o plasma poderá substituir processos térmicos e o uso do cloro, dada as suas vantagens. No entanto a sua implementação ainda depende da sua aprovação por órgãos governamentais, assim como definição dos parâmetros, aceitação pelos consumidores e adaptação do processo a escala industrial dos equipamentos. A partir

destas evidências conclui-se que o uso do plasma é efetivo no controle de microrganismos além de ser vantajoso por ser uma tecnologia limpa que não causa grandes alterações nos alimentos, porém ainda não está disponível no mercado neste momento.

Palavras-chave: Vegetais, DBD (descarga de barreira dielétrica), higienização, desinfecção, microbiologia.

ABSTRACT

Plasma is a non-thermal technology for the control of microorganisms, which presents itself as an alternative technique for sanitizing vegetables. This work elaborated a bibliographical revision on the use of the plasma in its use, as well as objective, its acting resources, and applications, as its possibilities of alterations in the microbial control in the availability. For this, they are older, looking for studies from the last 1 years on the subject of cold plasma sanitization, scientific research in Google, SCIELO, Periodicals and Science Direct databases, in Portuguese and English. The research of this research is observed the fourth state of matter, from the application of energy to a mixture of gases where it is using mechanical, thermal, formed/or radiant, so the chemical energy obtained from the ionization of the gas (low or medium) and the generation of free, active, electronic species that act in the control of microorganisms. Among the main uses, there is DBD (discharge by dielectric barrier) and plasma Jato, however, among the studies observed, DBD was most found in research related to sanitization. Cold plasma represents an efficient technique used for fruit surface decontamination and suitable for many applications, especially to maintain phytochemicals and quality attributes. Among the researches that are part of this review, the application of plasma was observed mainly in leafy vegetables and fruits, being effective in reducing the microbial load by approximately 2.5 log CFU in the control of pathogenic bacteria, such as *Salmonella sp.* and *Listeria monocytogenes* in fruits such as mango, cherry, banana, tomato and cucumber. However, the reduction in microbial load in leafy vegetables such as lettuce, cabbage and spinach was around 1.5 to 3 log CFU. As for the changes observed in foods, color was the main attribute influenced by the use of this technique, when used in leafy vegetables, but in studies that evaluated changes in fruits, significant changes are not usually observed. In this way it is observed that in the future plasma may replace thermal processes and the use of chlorine, given its advantages. However, its implementation still depends on its approval by government agencies, as well as the definition of parameters, acceptance by consumers and adaptation of the process to the industrial scale of the equipment. From this evidence, it is concluded that the use of plasma is effective in the control of microorganisms, and may be an alternative to the use of conventional techniques such as chlorine, in addition to being advantageous because it is a clean technology that

does not cause major changes in food, but It is not yet available on the market at this time.

Keywords: Vegetables, DBD (Dielectric Barrier Discharge), sanitation, disinfection, microbiology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Diagrama esquemático de quatro estados da matéria	18
Figura 2– (a) Constituintes do plasma, (b) Processos químicos induzidos pelo plasma	19
Figura 3 – Diagrama dos principais equipamentos de geração de plasma, onde: (a) Plasma DBD e (b) Jato de Plasma	20
Figura 4 – Principais contribuições do plasma frio na preservação de vegetais	22
Figura 5– Aplicação de plasma frio em diversas áreas da fruticultura	23
Figura 6–Efeitos dos compostos gerados no plasma frio na morte microbiana	27
Figura 7– Efeito do tempo de tratamento com plasma (a) 120s (b) 180s (c) 240s (d) 300s (e) 600s na cor de folhas inteiras de couve	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1–Inativação microbiana de vegetais por tecnologia de plasma frio	30
Tabela 2– Principais alterações ocasionadas pelo plasma nos alimentos	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	METODOLOGIA.....	17
3	APRESENTAÇÃO DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	18
3.1	Tecnologia do plasma	18
3.2	Fatores que afetam na utilização de plasma na descontaminação de vegetais 25	
3.3	Mecanismos de Inativação microbiana através da utilização do plasma frio	26
3.4	Efeitos do tratamento sobre as características dos alimentos	35
3.5	Disponibilidade no mercado	40
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
	REFERÊNCIAS.....	42

1 INTRODUÇÃO

Um dos problemas de saúde pública mais frequentes do mundo contemporâneo é constituído pelas doenças transmitidas por alimentos (DTA), onde 1 em cada 10 pessoas é acometida anualmente, segundo dados da Organização mundial da saúde OMS (2020). Na qual são causadas por agentes etiológicos, principalmente microrganismos, os quais penetram no organismo humano através da ingestão de água e alimentos contaminados (NOTERMANS; HOOGENBOOM-VERDEGAAL, 1992; AMSON; HARACEMIV; MASSON, 2006).

Dentre os principais agentes causadores de doenças transmitidas por alimentos, estão em destaque as bactérias, devido ao seu envolvimento na maioria dos surtos e sua importância na saúde pública. Normalmente os microrganismos causadores de doenças transmitidas por alimentos, são *Salmonella* sp, *Campylobacter* sp. e *Escherichia coli* patogênicas e intoxicações por *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus* e *Clostridium botulinum*) (PAIVA; BORGES; PANETTA, 2000).

Os alimentos envolvidos em surtos de doenças transmitidas por alimentos (DTA) estão as frutas e hortaliças na maioria das vezes consumidas como saladas e são alimentos que apresentam alto risco de contaminação microbiológica.

A ingestão de alimentos que não atendem aos padrões sanitários seja por representarem perigos físicos, químicos e, principalmente, biológicos é um risco iminente à segurança alimentar (TONDO; BARTZ, 2014).

As condições para a contaminação dos alimentos estão relacionadas aos seus fatores intrínsecos e extrínsecos. Os fatores intrínsecos estão relacionados às características próprias do alimento, como a atividade de água, o pH, o potencial de oxido-redução, a composição química, os fatores antimicrobianos naturais e as interações entre os microrganismos presentes no alimento. Os fatores extrínsecos se dão pela umidade, a temperatura ambiental, e também a composição química da atmosfera que envolve o alimento (FRANCO; LANDGRAF, 2003). A contaminação cruzada, quando um pequeno lote de produto contaminado pode ser responsável pela contaminação de um grande lote (LÓPEZ-GALVEZ *et al.*, 2010).

Ocorrendo pela sanitização inadequada ou até mesmo a má qualidade da água em que os vegetais serão enxaguados após a sanitização para retirada do resíduo químico (FRANCO; LANDGRAF, 2001). Com isso as boas condições higiênico-

sanitárias do preparo e parâmetros de controle microbiológico são indispensáveis, para prevenir a ocorrência de toxinfecções alimentares (GARCIA *et al.*, 2015).

A sanitização no processamento mínimo de frutas e hortaliças visa a destruir os microrganismos patogênicos e reduzir os deteriorantes. A baixa eficiência dos sanitizantes usados para descontaminação das superfícies pode ser atribuída à incapacidade dos componentes ativos da solução de tratamento em alcançar os sítios de colonização das células microbianas (MORETTI, 2008).

Para evitar problemas com contaminação, o tipo de lavagem para desinfecção deve seguir os passos preconizados pela ANVISA, que é a lavagem tripla, na qual o produto é pré-lavado num tanque primário, seguido por uma lavagem sanitizante em um segundo tanque. Posteriormente é feito um enxágue com água limpa, para retirar resquícios do sanitizante utilizado (PALMA-SALGADO *et al.*, 2014).

Várias técnicas tradicionais de higienização de frutas são exploradas, incluindo hipoclorito de sódio, ozônio, procedimentos de lavagem e uso de tecnologias térmicas.

No entanto, buscando alternativas, diversos agentes sanitizantes têm sido propostos como substitutos do hipoclorito de sódio na sanitização de hortaliças. Agentes como o ácido acético e ácido peracético ganharam aceitação por serem considerados tão eficazes quanto o cloro, e também em função das controvérsias sobre a toxicidade do cloro nos alimentos (ARENSTEIN, 2003).

No entanto, enfatizam-se as questões ambientais e de saúde, que deve haver uma redução do uso de procedimentos químicos. As técnicas térmicas são bastante eficazes e eficientes, mas afetam negativamente as qualidades funcionais e sensoriais. Sendo assim novas tecnologias estão sendo desenvolvidas para controlar a infecção microbiana que também não afeta os fitoquímicos e as propriedades sensoriais (BILEK; TURANTAŞ, 2013; JOSÉ *et al.*, 2014; LUNG *et al.*, 2015).

De acordo com Mandal, Singh e Prata Singh (2018), vegetais frescos usado no tratamento apesar de alcançar a descontaminação, inativação enzimática e aumentar a vida de prateleira apresenta efeitos indesejáveis em suas características físicas, nutricionais ou propriedades bioativas reduzindo qualidade e aceitação, esses fatores contribuem para o surgimento de microrganismos convenientes a técnica convencional. Novas técnicas físicas não térmicas são estimuladas com o propósito de aumentar a vida útil de produtos, como por ex.: uso campo elétrico pulsado, processamento de alta pressão (HPP), luz pulsada, ultrassom, plasma frio, irradiação, aquecimento ôhmico, luz ultravioleta (UV) e lavagem com ozônio.

Estas técnicas são realizadas em temperatura ambiente algumas já estão sendo usadas como técnicas comerciais para desinfecção de superfície para controlar eficazmente patógenos de origem alimentar e melhorar a preservação e armazenamento dos produtos frescos, tendo um impacto mínimo na qualidade e nos parâmetros nutricionais.

O plasma referido com “gás energizado” é o quarto estado da matéria, formado quando um gás é fornecido com energia suficiente para ionizá-lo, rompendo as estruturas intra-atômicas de seus componentes.

Segundo Misra *et al.* (2016) o processo de plasma frio ajuda a remover ou diminuir de forma eficiente vestígios de pesticidas na produção, a técnica tem chamado a atenção recentemente como uma possível técnica para inativar a atividade enzimática endógena de frutas minimamente processadas. Consequentemente, o processo de tecnologia de plasma é explorado com sucesso em várias áreas da indústria de frutas. A eficiência do plasma frio depende principalmente da voltagem, frequência, tipo de gás e tempo de exposição.

Esta revisão trata do conhecimento recente da tecnologia de plasma frio na redução de riscos microbianos e no aprimoramento dos atributos de qualidade em frutas e legumes.

Este trabalho objetivou elaborar uma revisão bibliográfica sobre a utilização do plasma na sanitização de vegetais. Procurando esclarecer, os seus mecanismos de atuação, potenciais e aplicações, efeitos sobre o controle microbiano e suas possíveis alterações nos alimentos, bem como sua disponibilidade no mercado.

2 METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido na forma de uma revisão bibliográfica sistemática, sobre o tema Utilização do plasma na sanitização de vegetais. As palavras-chaves usadas foram: vegetais, DBD, higienização, desinfecção e microbiologia. A produção científica foi desenvolvida nas seguintes bases eletrônicas de dados: Google Acadêmico, SCIELO, Periódico Capes e *Science Direct*. Foram selecionados os artigos publicados no período de 2005 a 2022, no idioma português e inglês, totalizando 95 publicações.

O processo de seleção dos artigos consistiu em primeiro momento da leitura do título dos estudos encontrados, e em seguida leitura dos resumos. Após a leitura destas fases e principalmente se atendiam o objetivo das buscas iniciava-se então uma leitura crítica do artigo completo. No final da leitura completa dos artigos, caso apresentasse os objetivos pesquisados do atual trabalho, estes eram selecionados.

O critério de inclusão foi: artigos com embasamento as novas tecnologias de sanitização de alimentos. O critério de exclusão foi: artigos que não eram voltados a novas tecnologias de sanitização de alimentos.

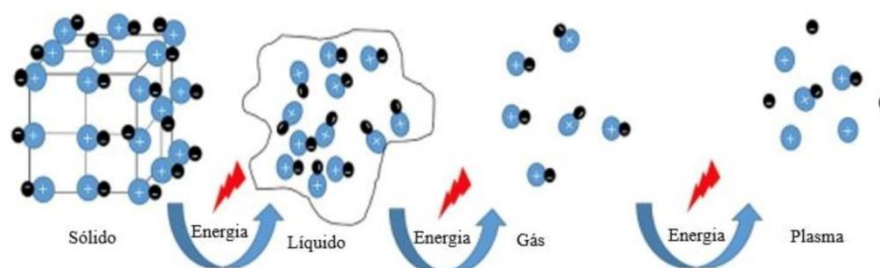
Os trabalhos foram catalogados em uma planilha do Excel, apresentando o título/autor/ano; avaliações realizadas em cada artigo; inativação microbiana de frutas por tecnologia de plasma frio, principais alterações ocasionadas pelo plasma nos alimentos e técnica de aplicação.

3 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 Tecnologia do plasma

Segundo Niemira (2012) o plasma é frequentemente referido como gás energizado, sendo o quarto estado da matéria. É formado quando a um gás é fornecida energia suficiente para ionizá-lo, quebrando as estruturas intra-atômicas de seus componentes. O nível de energia na matéria aumenta e causa uma transição do estado sólido para o líquido e depois para o estado gasoso (Figura 1). Quanto mais energia for fornecida nesta fase gasosa, os átomos/moléculas constituintes começam a colidir violentamente e ocorre a quebra das moléculas do gás, resultando na formação de espécies carregadas e neutras, e liberação de radiação em comprimentos de onda variáveis conforme ilustra (D'AGOSTINO *et al.*, 2005; LIAO *et al.*, 2017).

Figura 1– Diagrama esquemático de quatro estados da matéria



Fonte: LIAO *et al.* (2017)

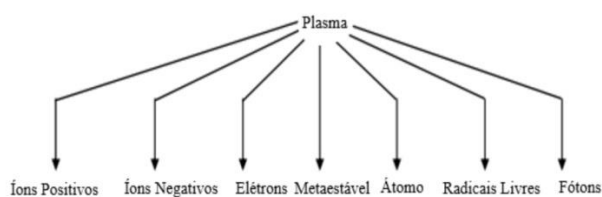
De acordo com Pignata *et al.* (2014) o plasma é gerado através da aplicação de energia a uma mistura de gases onde é usando energia mecânica, térmica, química e radiante, logo causando a ionização do gás (baixa ou atmosférica) e a geração de espécies ativas, elétrons, radicais livres, íons, etc. Existe como estado fundamental ou excitado e possui cargas neutras líquidas (LAROUSSE, 2005; BÁRDOS; BARÁNKOVÁ, 2010; WELTMANN *et al.* 2010).

Este sistema é de alta energia e consiste em múltiplos ativos e espécies como radicais livres, íons, elétrons, átomos e moléculas que torna o sistema interativo tanto física quanto quimicamente (via colisão, corrosão e radiação UV), eletricamente

condutivo e responsivo a campos e eletromagnéticos (MUHAMMAD *et al.*, 2018; NIEMIRA; GUTSO,2011; PANKAJ; WAN; KEENER, 2018), conforme apresentado na Figura 2.

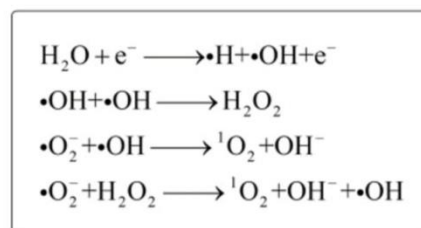
De acordo com Keener (2011) podem ser produzidas espécies como oxigênio, ozônio, nitrogênio, peróxido de hidrogênio, radicais hidroxila e óxido nítrico durante a geração do plasma. Essas espécies estão sendo estudadas na descontaminação de alimentos através da inativação dos microrganismos. Sendo revertidas a gás atmosférico original no prazo de minutos a horas após o tratamento. Estas espécies altamente reativas interagem com macromoléculas celulares tais como lipídios e proteínas, e comprometem a sua funcionalidade, conduzindo-os à morte celular (LU *et al.*, 2014).

Figura 2– (a) Constituintes do plasma, (b) Processos químicos induzidos pelo plasma



(a)

Fonte: NEHRA *et al.* (2008)



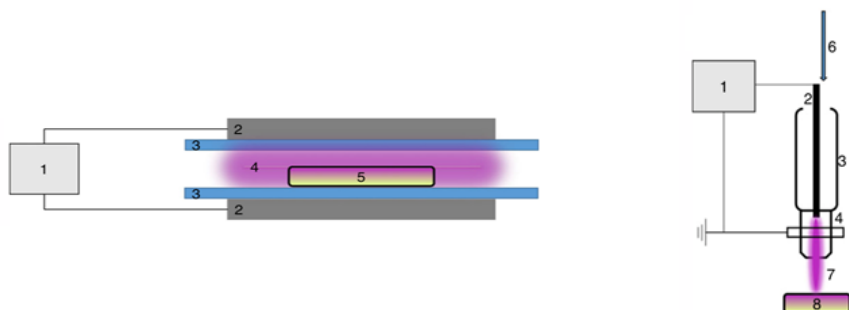
(b)

Fonte: PAN; CHENG; SUN (2019)

De acordo com Pan, Cheng e Sun (2019) as principais formas de descargas elétricas utilizadas para gerar o plasma frio são descarga corona, descarga incandescente, descarga de rádio frequência (RF), descarga de barreira dielétrica (DBD), descarga corona pulsada, descarga de micro-ondas e jato de plasma. Dentre estes, o plasma DBD e o plasma a jato são as formas mais utilizadas para geração.

O plasma DBD (descarga por barreira dielétrica), também conhecido como “descarga silenciosa” é uma das configurações de aplicação de plasma mais utilizadas, normalmente é composto por dois eletrodos, um conectado a uma fonte de alta tensão e o outro aterrado, separados por um material dielétrico sólido (plástico, vidro, etc) (ARJUNAN; SHARMA; PTASINSKA, 2015), como pode ser observado na figura 3. Este sistema pode ser aplicado a materiais biológicos sem causar nenhum dano (KUCHENBECKER *et al.*, 2009), e já vem sendo amplamente utilizado na área de alimentos (KIM *et al.*, 2015; LIAO *et al.*, 2018).

Figura 3 – Diagrama dos principais equipamentos de geração de plasma, onde: (a) Plasma DBD e (b) Jato de Plasma



1: fonte de alimentação; 2: eletrodos; 3: barreira dielétrica; 4: descarga de plasma; 5: amostra.

1: fonte de alimentação; 2: alta tensão; 3: eletrodo de tubo; 4: bocal; 5: anel eletrodo; 6: entrada de gás; 7: descarga de plasma; 8: amostra.

(a)

(b)

Fonte: Adaptado de LU *et al.* (2012)

Um ou dois dos eletrodos são cobertos por algum material dielétrico, pelo qual praticamente não passa corrente elétrica, impedindo assim um arco elétrico (jato direto de elétrons), e facilitando a ionização do gás no espaço entre eletrodos. Micro-descargas conectam os eletrodos por um curto período e distribuem a carga elétrica na superfície do dielétrico (KUCHENBECKER *et al.*, 2009; MISRA *et al.*, 2019).

Os eletrodos do sistema DBD (Descarga por barreira elétrica) podem ser arranjados em uma configuração horizontal ou cilíndrica, e são separados por um pequeno espaço que é preenchido com um gás a pressão atmosférica. Uma alta voltagem é aplicada aos eletrodos e quando esta ultrapassa a energia de ionização do gás, o gás entre eletrodos é ionizado. São formados elétrons durante este processo, os quais reagem com as moléculas do gás, formando íons, espécies químicas ativas, radiação UV e calor (SCHLÜTER; FRÖHLING, 2014).

O jato de plasma tem sido mais utilizado para aplicações biomédicas do que no processamento de alimentos sólidos, pois é mais indicado para aplicações de alta eficiência em pequenas áreas (PAN; CHENG; SUN, 2019 apud NISHIME *et al.*, 2017).

Xiong *et al.*, (2011) estudaram a profundidade de penetração de um jato de plasma em biofilmes no qual foram inoculadas bactérias *Porphyromonas gingivalis*

usando um microscópio de varredura laser. No qual o estudo mostrou que o plasma era capaz de inativar as células bacterianas até uma profundidade de 15 μm . Onde, contudo, a profundidade de penetração limitada no substrato pode ser considerada uma vantagem, uma vez que a principal razão para a aplicação de plasma na superfície é uma descontaminação microbiana com efeitos deletérios mínimos.

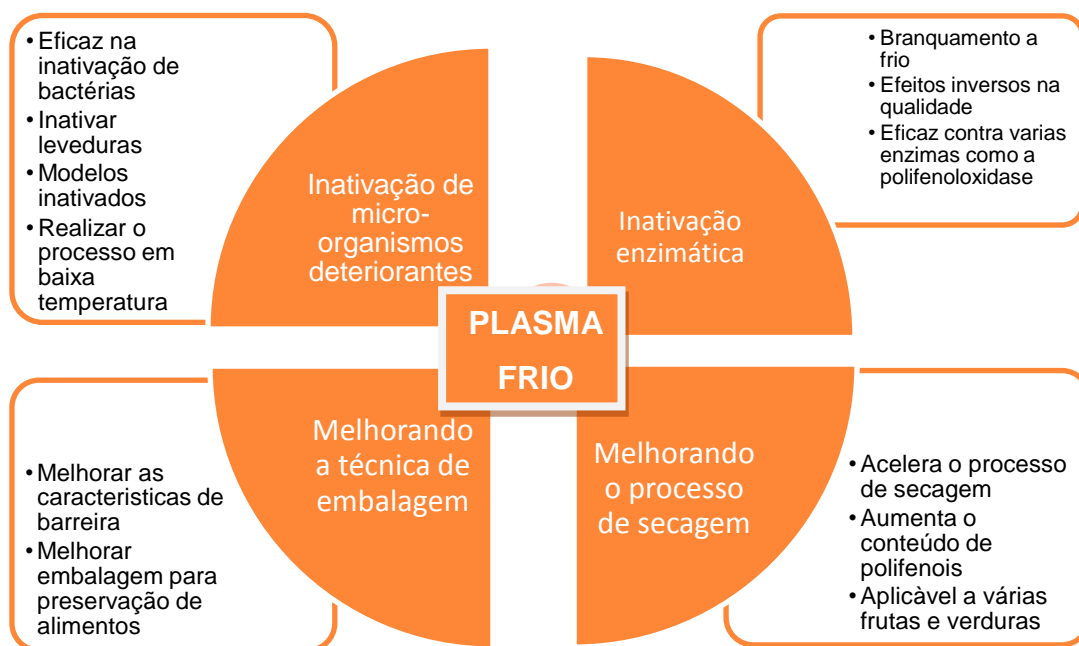
Niveditha *et al.* (2021) afirmam que a tecnologia do plasma frio ganhou importância como uma nova esterilização, método utilizado nas indústrias de alimentos nos últimos anos, sendo também conhecido por outros nomes, como plasma não térmico e plasma sem equilíbrio.

O plasma frio à pressão atmosférica elimina a necessidade de um sistema de vácuo, tornando o processo mais prático e barato (LU *et al.*, 2014). Uma das características atrativas do plasma atmosférico no estado de não equilíbrio termodinâmico é o seu caráter químico, produzido pela abundância de espécies ativas, que elimina a necessidade de temperaturas elevadas do gás, com temperaturas próximas à ambiente (NASCIMENTO, 2011; MATTHES *et al.*, 2013) e principalmente por se tratar de um processo que não causa efeitos indesejáveis como toxicidade residual e poluição ambiental, além de não oferecer riscos para a saúde humana (SCHNABEL *et al.*, 2015; LU *et al.*, 2014; MISRA *et al.*, 2014).

Dentre as suas vantagens estão a ausência de resíduos tóxicos, baixo consumo de energia, simples equipamento e condições operacionais sem elevação de temperatura. Porém, como desvantagem, tem-se o elevado custo, com seu uso bem como a construção de uma planta para irradiação e treinamento de pessoal, sem contar os riscos de acidentes com materiais radioativos que podem eventualmente acontecer (SOUZA *et al.*, 2013).

Na figura 4 são representadas as explorações do uso do plasma frio na conservação de alimentos. Esta tecnologia apresenta alta reatividade, o que o torna apropriado para uma ampla gama de aplicações em vários setores, como agricultura, alimentos, embalagens, medicamentos. Devido à sua natureza relativamente fria, os plasmas são adequados para produtos sensíveis ao calor.

Figura 4 – Principais contribuições do plasma frio na preservação de vegetais



Fonte: ASL *et al.*(2021)

Como pode ser observado na figura 5, o plasma frio representa uma técnica eficiente usada para descontaminação da superfície de frutas e legumes (MIR *et al.*, 2016; PIGNATA *et al.*, 2017). Esta técnica é adequada para diversas aplicações, especialmente para manter fitoquímicos e atributos de qualidade (LACOMBE *et al.*, 2015; SCHNABEL *et al.*, 2015; AMINI; GHORANNEVISS, 2016; WON; LEE; MIN,2017).

Figura 5– Aplicação de plasma frio em diversas áreas da fruticultura



Fonte: MIR *et al.* (2019)

Os pesticidas hoje em dia, são usados por agricultores e pomares para prevenir as plantas de várias infecções fúngicas e bacterianas e aumentar a produção. Os agrotóxicos permanecem intactos na fruta e têm efeitos indesejáveis na saúde do consumidor. Portanto, são necessárias medidas preventivas para evitar os efeitos negativos na saúde humana e a remoção de resíduos de agrotóxicos nas frutas. Conforme Heo *et al.* (2014) estudos demonstraram a degradação de paraoxon em maçãs por exposição remota de plasma de ar atmosférico. Bai *et al.* (2010) também avaliaram a degradação de pesticidas organofosforados durante o tratamento com plasma. A aplicação do tratamento com plasma de oxigênio afetou significativamente o pesticida organofosforados com eficiência de degradação satisfatória.

A eficiência de degradação depende dos parâmetros operacionais, incluindo tempo de exposição, potência de descarga, distância do centro da bobina de indução e concentrações de pesticida organofosforado. Observou-se que o pesticida organofosforado foi degradado em compostos menos tóxicos do que a molécula do pesticida original.

Sarangapani *et al.* (2016) investigaram o efeito de um reator de plasma de descarga de barreira dielétrica de alta tensão na degradação de pesticidas, como diclorvos, malationeendosulfan. A cinética de degradação dos agrotóxicos foi avaliada por cromatografia gasosa-espectrometria de massa em função dos parâmetros de controle do plasma. Análises de espectrometria de massa por cromatografia gasosa

mostraram que os compostos degradados e intermediários formados pelo tratamento com plasma eram menos tóxicos do que o pesticida original. O limite mínimo residual de produtos químicos nocivos utilizados no sistema agrícola tem sido uma tarefa alarmante e desafiadora. Conforme discutido acima, o plasma frio tem sido relatado como uma das tecnologias promissoras para a descontaminação de frutas por agrotóxicos. A aplicação desta tecnologia pode remover ou diminuir os vestígios de pesticidas nos produtos.

O plasma frio é uma tecnologia potencial que pode ser explorada para a inativação de enzimas na indústria de frutas. Conforme Ma *et al.* (2017) o momento do processamento de produtos minimamente processados e secos, a polifenoloxidase e a peroxidase precisam ser inativadas para evitar reações indesejáveis de escurecimento e perda de atributos nutricionais e sensoriais.

Estudos demonstram que a interação do plasma frio com componentes alimentares como frutas pode afetar a atividade enzimática e desempenhar um papel significativo na manutenção da qualidade dos alimentos. Misra *et al.* (2016) relatam que as enzimas polifenoloxidase (PPO), peroxidase (POD) e pectina metilesterase foram destruídas pelo tratamento com plasma frio, conforme tempo de aplicação e da voltagem.

A eficiência da tecnologia de plasma para descontaminação de frutas é afetada por diversos fatores. A potência de entrada é um parâmetro importante durante o processamento do plasma. Quanto maior a potência de entrada durante a operação do plasma, maior a inativação microbiana (LIAO *et al.*, 2017).

Foi observado por Won; Lee; Min (2017) o aumento significativo do potencial antioxidante e do composto fenólico na casca de tangerina. O tratamento com plasma frio poderia ser usado para preservar tangerinas com maior teor de fenólicos totais na casca de tangerina. Pois, não ocorreu nenhum efeito significativo na respiração, perda de água, sólidos solúveis, pH e concentração de ácidos orgânicos na polpa dos frutos foi registrado durante o armazenamento a 4 e 25°C.

Lacombe *et al.* (2015) avaliaram o efeito do plasma frio atmosférico na qualidade de mirtilos. Eles observaram uma diminuição significativa nos teores de antocianinas após 90s de tratamento.

Ramazzina *et al.* (2015) relataram alteração insignificante nos antioxidantes, como ácido ascórbico e polifenóis, em kiwis minimamente processados e não tratados com plasma frio.

3.2 Fatores que afetam na utilização de plasma na descontaminação de vegetais

De acordo com Liao *et al.* (2017) A tecnologia de plasma tem uma eficiência para descontaminação de frutas, porém é afetada por diversos fatores. Um parâmetro importante durante o processamento do plasma é potência de entrada. Quanto maior a potência de entrada durante a operação do plasma, maior a inativação microbiana. Conforme relatado por Deng *et al.* (2007) a alta tensão e frequência de entrada aumentam a eficiência da inativação microbiana do plasma frio, em amêndoas. Também foi observado por Dasan *et al.* (2016) um efeito maior de descontaminação com um subsequente aumento da tensão e frequência de referência aplicada em avelãs. No entanto, deve-se notar que a aplicação de alta potência de entrada às vezes afeta os atributos de qualidade dos frutos (RAMAZZINA *et al.*, 2015).

Um dos parâmetros importantes que afetam a eficiência do processamento do plasma é o tempo. Em estudos, Critzer *et al.* (2007) expuseram melão por 1, 3 e 5 min, e maçã por 30 s, 1 e 2 min. Uma diminuição aproximada de 3 log UFC (unidade formadora de colônia) por grama de *Escherichia coli* O157:H7 foi observada em maçãs quando expostas por 2 min. Da mesma forma, a diminuição da incidência de *Salmonella sp.* foi registrado em melão na exposição de 3 min. Os resultados indicaram que o tempo de exposição pode afetar significativamente a redução de patógenos microbianos.

A composição do gás utilizado para geração de plasma afeta significativamente a descontaminação e a qualidade dos frutos.

Segundo Amini e Ghoranneviss (2016), gases e misturas de gases ionizam em diferentes voltagens. O plasma frio tem uma eficiência que pode ser afetada pelo tipo de gás usado, estilo de exposição, configuração do gerador e ambiente operacional. Os gases nobres Argônio e hélio possuem alta condutividade térmica e espectro de emissão ultravioleta que danifica as células bacterianas. Sendo, eles preferencialmente usados em investigações de descontaminação.

A mistura de gases atmosféricos como O₂, CO₂, N, He, Ar e ar pode ser utilizada durante a geração de plasma (BAIER *et al.* 2014; PIGNATA *et al.* 2014). O oxigênio ajuda a aumentar a eficiência dos gases operacionais durante o processamento. Deng, Shi e Kong (2006) exploraram vários gases (Hélio ou mistura

de Hélio + Oxigênio) e opinaram que as espécies reativas de oxigênio foram os principais fatores para a inativação microbiana.

De acordo com Mao *et al.* (2021) as condições de inativação de microrganismos em vegetais frescos dependem de diversos fatores envolvidos no processamento para os resultados, que variam em relação ao tipo de microrganismo.

Geralmente nos trabalhos relacionados a alimentos os parâmetros utilizados com frequência como técnicas de aplicação são: tempo, potência, temperatura, armazenamento e distância.

3.3 Mecanismos de Inativação microbiana através da utilização do plasma frio

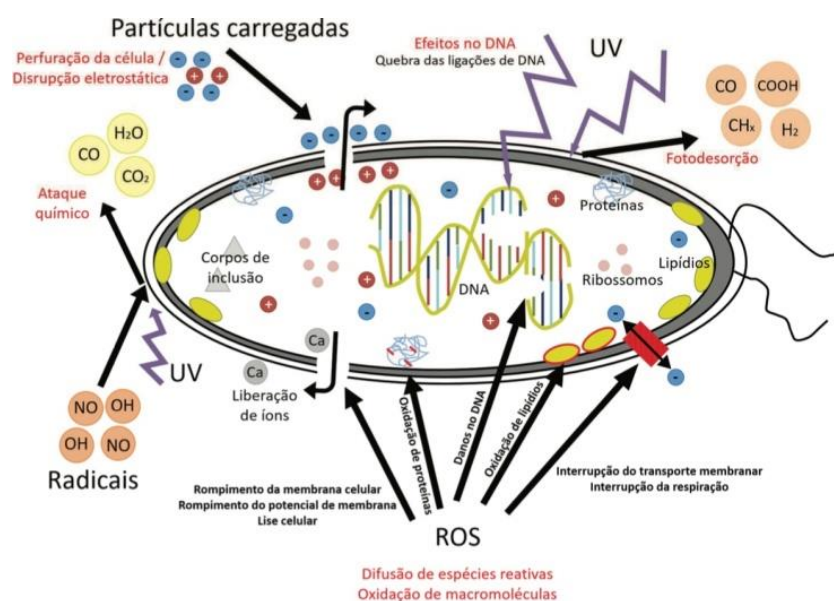
Muitas pesquisas realizadas desde o trabalho de Moisan *et al.* (2001) sobre o mecanismo exato da esterilização por plasma frio, tem sido um desafio devido à complexidade do plasma e diversidade de microrganismos a serem tratados.

De acordo com Liao *et al.* (2017) e Pignata *et al.* (2017) os principais caminhos para a destruição microbiana próxima a temperatura ambiente entre o plasma gerado e as membranas celulares com base em estudos, são interações químicas, biológicas e físico-químicas.

Segundo Thiagarajan, Sarani e Gonzales (2013), a eficiência do plasma na inativação de microrganismos depende de vários fatores, como o tipo de fonte, mecanismo de geração do plasma, potência, densidade, gás utilizado, tipo de microrganismo a ser inativado e a matriz do alimento.

As células biológicas reagem com diferentes espécies de plasma, induzindo a mudanças permanentes nos níveis moleculares e morfológicos, levando assim a sua inativação. A morte celular pelo plasma ocorre profundamente por três mecanismos: por meio de interação química de partículas carregadas, espécies reativas ou radicais com membranas celulares, erosão de componentes celulares internos e membranas por radiação UV e destruição de fitas de DNA através da radiação ultravioleta (ASL *et al.*, 2021; SCHLÜTER; FRÖHLING, 2014), como pode ser observado na Figura 6.

Figura 6–Efeitos dos compostos gerados no plasma frio na morte microbiana



Fonte: Adaptado de Schlüter e Flohling (2014).

As espécies reativas de oxigênio (ROS) formadas pelo plasma frio atuam na morte celular de três formas: oxidação do DNA celular, peroxidação lipídica causada devido a vulnerabilidade de ácidos graxos insaturados a ataques de radicais OH e a desnaturação da proteína devido a oxidação de aminoácidos (MONTIE; KELLY-WINTENBERG; ROTH, 2000). Além disso, acredita-se que os radicais livres também possam causar lesões na parede das células, levando a lise e consequente morte celular (DOLEZALOVA; LUKES, 2015).

O principal efeito do plasma frio nas células bacterianas, fúngicas ou de esporos está relacionado à interação das espécies reativas do plasma com os componentes celulares, como membranas celulares ou revestimento de esporos (BERMÚDEZ-AGUIRRE, 2020). No caso de bactérias Gram-negativas, a lesão é relacionada ao processo conhecido como gravação e depende muito das reações entre o plasma carregado e as moléculas de substrato. O plasma carregado fica acumulado na superfície externa da membrana celular, transmitindo uma força eletrostática que eventualmente leva a ruptura da membrana celular por um processo chamado eletropermeabilização (MENDIS; ROSENBERG; AZAM, 2000).

Segundo Laroussi, Mendis e Rosenberg (2003) as bactérias Gram-positivas não apresentam qualquer alteração na morfologia após a exposição ao plasma, sendo a morte celular relacionada difusão das espécies reativas geradas pelo plasma

através membrana plasmática e posterior interação com os biomateriais celulares, como relatado por Lackmann e Bandow (2014).

O plasma tem demonstrado resultados promissores na substituição pelos agentes para inativar os vírus. A revisão de Bourke *et al.* (2017) apontou que essa tecnologia tem sido utilizada no controle de norovírus humano, também sendo eficiente para inativar influenza. Desta forma o uso de tecnologia de plasma frio, tem sido uma tecnologia eficiente para desinfetar superfícies contaminadas com vírus reduzindo o risco potencial de transmissão de agentes infecciosos.

O plasma e sua interação química são com os sistemas orgânicos de alta complexidade, sendo necessárias investigações aprofundadas nesse sentido. Espécies reativas de oxigênio (ROS) e de nitrogênio (RNS) são consideradas principais responsáveis pelos efeitos letais aos microrganismos, tais efeitos são oriundos dos fenômenos do plasma frio atmosférico. Além desses, a radiação ultravioleta (UV) e variações de pH atuam como intensificadores dos efeitos antimicrobianos (KALGHATGI *et al.*, 2011; REUTER *et al.*, 2012; NOSENKO; SHIMIZU; MORFILL, 2009; OEHMIGEN *et al.*, 2010).

Alternaria spp. são fungos latentes, os quais apresentam picos de crescimento durante o armazenamento refrigerado de frutas, uma vez que são do tipo psicotrófico (se desenvolvem em temperaturas de 0°C a 20°C). Tornando o fungo visível durante o período de comercialização (TRONCOSO-ROJAS; TIZNADO-HERNÁNDEZ, 2014) e está associado à deterioração total de frutos minimamente processados (OSTRY, 2008).

A inativação deste fungo é fundamental para que frutos possuam uma vida de pós-colheita adequada à comercialização, independentemente da logística e mercado consumidor. O fungo do gênero *Alternaria spp.* são deteriorantes e mais de 100 espécies vegetais já foram relatadas como afetadas negativamente por esses microrganismos. (ARMITAGE *et al.*, 2015).

O fungo se torna visível durante o período de comercialização (TRONCOSO-ROJAS; TIZNADO-HERNÁNDEZ, 2014) e está associado à deterioração total de frutos minimamente processados (OSTRY, 2008). Logo, a inativação deste fungo é fundamental para que frutos possuam uma vida de pós-colheita adequada à comercialização, independentemente da logística e mercado consumidor. Em um estudo de Trivedi *et al.* (2019) bananas tratadas por 10 min não mostraram crescimento de mofo visível, mesmo após um período de armazenamento de 7 dias.

Na Tabela 01 estão descritas as pesquisas que avaliaram plasma para o controle de microrganismos em alimentos de origem vegetal. Observa-se que o controle de microrganismos variou conforme o alimento, tecnologia, tempo, potência, temperatura e ajustes dos equipamentos.

Dentre as pesquisas que fazem parte desta revisão observou a aplicação do plasma principalmente em vegetais folhosos e frutas, sendo efetivo na redução da carga microbiana em aproximadamente 2,5 log no controle de bactérias patogênicas, como *Salmonella* e *Listeria* em frutos como manga, cereja, banana, tomate e pepino, no entanto a redução de vegetais folhosos como alface, repolho e espinafre foi em torno de 1,5 a 3 log.

Tabela 1–Inativação microbiana de vegetais por tecnologia de plasma frio

Artigo	Alimento pesquisado	Técnica de aplicação	Principais resultados
Trivedi <i>et al.</i> (2019) Enhancing shelf life of bananas by using atmospheric pressure pulsed cold plasma treatment of the storage atmosphere.	Banana	Descarga de barreira elétrica DBD (27,76 W) Tempo: 10min as amostras foram expostas no plasma frio ar tratado recirculado por 7 dias na quarta temperatura normal pressão e umidade.	Controle do crescimento de fungos, não mostrou nenhum crescimento de mofo.
Bogdanov <i>et al.</i> (2018) Microwave Plasma Torch Generated in Argon for Small Berries Surface Treatment.	Cerejas	Descarga de micro-ondas MW (9 w; 2,45 GHz) Tempo: 15, 30, 60s; Potência: 5, 7, 9 W; Temperatura: 25°C, UR 35%	Microflora de fundo (10 ¹¹ UFC/ mL) efeitos positivos na redução do total de UFC após 30 e 60s.
Perni <i>et al.</i> (2008) Cold Atmospheric Plasma Disinfection of Cut Fruit Surfaces Contaminated with	Manga	Jato de plasma de pressão atmosférica APPJ duplo (8KV 30 kHz) Tempo: 0–40 s Temperatura: ≤ 30 °C	<i>Escherichia coli</i> tipo 1, <i>Listeria monocytogenes</i> (10 ⁹ UFC/ ml); redução de 2,5 log UFC/ML após 30s <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , (10 ⁸ UFC/ ml); redução de 2,5 log UFC/ml após 40s

Migrating Microorganisms.			<i>Gluconacetobacter Liquefaciens</i> (10 ⁸ UFC/ ml); redução de 2,0 log UFC/ml após 10s.
Bhide <i>et al.</i> (2017) Effect of Surface Roughness in Model and Fresh Fruit Systems on Microbial Inactivation Efficacy of Cold Atmospheric Pressure Plasma.	Casca de laranja	Plasma jato (295 V, 22,5 kHz) Distância: 7.7 cm Tempo: 492s Temperatura: ≤ 55 °C	Redução de 0,86 log UFC <i>Enterobacter aerogenes</i> .
Baier <i>et al.</i> (2015) Impact of plasma processed air (PPA) on quality parameters of fresh produce.	Tomate cereja	Descarga conduzida indireta micro-ondas (2,45 GHz. 1,2 kW) Tempo: 2,5, 5 e 10min Temperatura: 23 °C	Contagem total de aeróbios mesófilos, redução de 3,3 log para amostras tratadas após 5min; sem formação de colônia após 10min.
Zhang Bactericidal effects of nonthermal low-pressure oxygen plasma on <i>S. typhimurium</i> LT2 attached to fresh	Tomate	Frequência de rádio gerador de energia (13,56 MHz, 600C) Tempo até 800s.	<i>Salmonella typhimurium</i> após 600s de tratamento, alcançou 2,2 logs de redução de UFC.

produce surfaces. <i>et al.</i> (2013)			
Lee <i>et al.</i> (2015) Cold plasma treatment for the microbiological safety of cabbage, lettuce, and dried figs.	Alface	Frio alimentado por micromave plasma com descarga de micro-ondas MW gerador (2,45 GHz, 50-1000 C) Nitrogênio para <i>S. typhimurium</i> inativação; oxigênio de hélio para <i>L. monocytogenes</i> inativação Tempo: 1-10min	<i>Salmonella typhimurium</i> (10 ⁸ UFC/ml), a 900 W, 1,5 log UFC/g redução de <i>Salmonella. typhimurium</i> após 10min usando gás nitrogênio. <i>Listeria monocytogenes</i> (10 ⁸ UFC/ml) o tratamento ideal para <i>Listeria monocytogenes</i> a inativação foi de 400 W com redução de 1,8 log.
Srey <i>et al.</i> (2014) Reduction effect of the selected chemical and physical treatments to reduce <i>L. monocytogenes</i> biofilms formed on lettuce and cabbage.	Repolho	Plasma frio oxigênio (2,54 mW/cm ²) Tempo: 5 min Temperatura: ≤ 32.5 °C	<i>Listeria monocytogenes</i> (5.85 log UFC/cm ²) Redução alcançada 4.09 log UFC/cm ² (ver redução 5,85-4,09) 1,8 log.
Zhang <i>et al.</i> (2013) Bactericidal effects of nonthermal low-pressure oxygen plasma on <i>S. typhimurium</i> LT2 attached to fresh produce surfaces.	Espinafre	Rádio frequência gerador de energia (13,56 MHz, 600C) Tempo até 800s	<i>Salmonella typhimurium</i> após 600 s de tratamento contagem microbiana caiu de 6,25 a 3,25 log UFC. Redução de 3 log.
Baier <i>et al.</i> (2015)	Pepinos	Descarga conduzida indireta micro-ondas (2,45 GHz 1,2 kW)	Contagem Total de mesofilo aeróbios (TMA reduzido na

Inactivation of Shiga toxin-producing Escherichia coli O104: H4 using cold atmospheric pressure plasma.	Tempo: 2,5 min, 3 min e 10min Temperatura: aprox. 23 °C	superfície com 1,2 e 1,5 ciclos de log após 5 e 10min.
---	---	--

Relatado por Trivedi *et al.* (2019) bananas tratadas por 10 min não mostraram crescimento de mofo visível, mesmo após um período de armazenamento de 7 dias.

Perni *et al.* (2008) observou que um plasma de hélio-oxigênio reduziu a carga microbiana inicial (1006 UFC/ cm²) para abaixo do nível de detecção no pericarpo da manga em menos de 10s, enquanto o tratamento de 30s foi necessário para trazer uma redução de 2,5 log UFC/ml nos pedaços de manga.

As cascas de laranja quando tratadas com plasma, mostrou uma redução limitada (<1 log UFC/63,64 cm²) na população de *enterobacter sp*, mesmo após 8 min de tratamento (BRIDE *et al.*, 2017).

O efeito plasma ao ser estudado em tomates cerejas embalados em filmes de Cryovac mostrou que o tempo de tratamento curto (30s) é suficiente para inativar completamente todas as colônias de fungos. Sendo o argônio uma escolha frequente como gás de alimentação durante o tratamento de tomates (BAIER *et al.*,2015)

De acordo com Srey *et al.* (2014) o repolho quando tratado com o oxigênio usado como gás de alimentação, reduziu de 4 log UFC/ cm² no *L.monocytogenes* foi observado em 5 min de tratamento, por outro lado o uso do nitrogênio como gás de alimentação de plasma resultou em 0,3- 2,1 log UFC/g, redução dependendo da potência (400-900 W) do gerador de plasma alimentado por micro-ondas sendo que uma redução de 1,5 log UFC/g de *S.Typhimurium* foi observada em potência de 900w.

O espinafre conforme Zhang *et al.* (2013) teve uma queda de 3 log na população de *S.Typhimurium* quando tratada com plasma de oxigênio por 5min.

Estudos testando a eficiência da inativação microbiana em pepinos, verificaram uma inativação maior que 90% na contaminação de *Salmonella sp*. com tempo de aplicação de 4s e uma redução de 1,2-1,5 log no total de aeróbias mesófilos em 5-10 min quando utilizou-se plasma gerado e ar atmosférico (BAIER *et al.*, 2015)

3.4 Efeitos do tratamento sobre as características dos alimentos

Como evidenciado na seção anterior, o plasma frio pode ser usado para descontaminação de superfícies de frutas e vegetais, inativando microrganismos patogênicos de origem alimentar. No entanto, durante o processamento de plasma, os produtos podem ser colocados em um forte campo elétrico com espécies de gases altamente reativos, podendo ocasionar efeitos deletérios sobre os atributos de qualidade física dos produtos, especialmente os hortifrutigrangeiros (PANKAJ; WAN; KEENER, 2018).

De acordo com Lacombe *et al.* (2015) a técnica de plasma frio, geralmente ocasiona pouca ou nenhuma alteração na composição nutricional e nos atributos sensoriais. No entanto, o efeito do tratamento do plasma na qualidade de frutas e vegetais depende altamente de suas características intrínsecas, que incluem, atividade de água, textura, composição química e pH. Na tabela 02 é apresentado um resumo de estudos que avaliam as mudanças nos parâmetros físico-químicos dos alimentos tratados com plasma frio.

Quanto às alterações observadas nos alimentos, à cor foi o principal atributo influenciado pelo uso desta técnica, quando utilizada em vegetais folhosos, porém em pesquisas que avaliaram alterações em frutos geralmente não são observadas mudanças significativas.

Tabela 2– Principais alterações ocasionadas pelo plasma nos alimentos

Artigo	Alimento pesquisado	Técnica de aplicação	Alterações do alimento que foram reportadas
Bermúdez-Aguirre <i>et al.</i> (2013) Effect of atmospheric pressure cold plasma (APCP) on the inactivation of <i>Escherichia coli</i> in fresh produce.	Coquetel tomates	Atmosférica pressão fria descargas de plasma (3.95 kV–12.83 kV, 60Hz) Tempo: de 30s até 10min Condição: 3,95kV até 12, 83 kV	Mudança de cor, intensificação da cor vermelha dos tomates.
Pasquali <i>et al.</i> (2016) Atmospheric cold plasma process for vegetable leaf decontamination: a feasibility study on radicchio (red chicory, <i>cichorium intybus</i> L.).	Radicchio	DBD (descarga de barreira elétrica) (15 kV, 12.5 kHz), Distancia: 70 mm Tempo: 15 e 30 min. Temperatura: ~22 °C Armazenamento: 3 dias a 4 °C	Cor
Jahid <i>et al.</i> (2015) Mixed culture biofilms of <i>Salmonella Typhimurium</i> and cultivable indigenous microorganisms on lettuce show enhanced resistance of their sessile cells to cold oxygen plasma.	Alface	Plasma frio oxigênio (1200–1250 $\mu\text{W s/ cm}^2$) Tempo: 50s Distância: 9,5cm	Cor, textura e cheiro

<p>Srey <i>et al.</i> (2014) Reduction effect of the selected chemical and physical treatments to reduce <i>L. monocytogenes</i> biofilms formed on lettuce and cabbage.</p>	<p>Repolho</p>	<p>Plasma frio oxigênio (2.54 mW/ cm²) Tempo: 5 min de cada lado Temperatura: ≤ 32.5 °C</p>	<p>Cor e textura</p>
<p>Trivedi <i>et al.</i> (2019) Enhancing shelf life of bananas by using atmospheric pressure pulsed cold plasma treatment of the storage atmosphere.</p>	<p>Banana</p>	<p>DBD (descarga de barreira elétrica) (27,76 W) tempo: 10min armazenamento: amostras expostas no plasma frio tratado recirculado por 7 dias à temperatura ambiente, pressão normal e umidade</p>	<p>Não houve diferença significativa em perda de peso, mudança de cor, textura e teor de açúcar entre o controle e amostras tratadas com plasma frio.</p>
<p>Schnabel <i>et al.</i> (2015) Decontamination and sensory properties of microbiologically contaminated fresh fruits and vegetables by microwave plasma processed air (PPA).</p>	<p>Maças</p>	<p>MW (descarga de micro-ondas) (2.45 GHz, 1.1 kW) Amostra colocada em um copo com uma distância fixa: 25 cm; tempo: 7s Gás temperatura: 4000 K</p>	<p>Não houve mudança na textura e aparência, mas foi detectado odor.</p>
<p>Baier <i>et al.</i> (2015) Inactivation of Shiga toxin-producing <i>Escherichia coli</i> O104:H4 using cold</p>	<p>Pepino</p>	<p>MW (descarga de micro-ondas) indireta conduzida (2,45 GHz, 1,2 kW) câmara de exposição com ar processado por plasma</p>	<p>Nenhuma mudança significativa de elasticidade.</p>

atmospheric pressure plasma.		Tempo: 2.5, 5, 10 min; Temperatura: ~23 °C	
Shan <i>et al.</i> (2019) Effects of cold plasma treatments on spot-inoculated <i>Escherichia coli</i> O157:H7 and quality of baby kale (<i>brassica oleracea</i>) leaves.	Couve	DBD (descarga de barreira dielétrica) Tempo: 60s, 120s, 180s, 240s, 300s e 600s. Temperatura: °4C	Efeito significativo na coloração das folhas de couve conforme aumento de exposição.

O efeito de plasma de argônio tratou tomates de coquetel e relatou um ligeiro aumento na vermelhidão dos tomates que não foi esteticamente diferente do controle (BERMÚDEZ-ARGUIRRE *et al.*, 2013).

As mudanças negativas no radicchio significativas na firmeza, cor, odor e textura foram observados em radicchio tratado com plasma enquanto as propriedades químicas não apresentaram alterações (PASQUALI *et al.*, 2016)

Jahid *et al.* (2015) relata que não houve alterações na cor e textura de alface e repolho tratados com oxigênio-plasma.

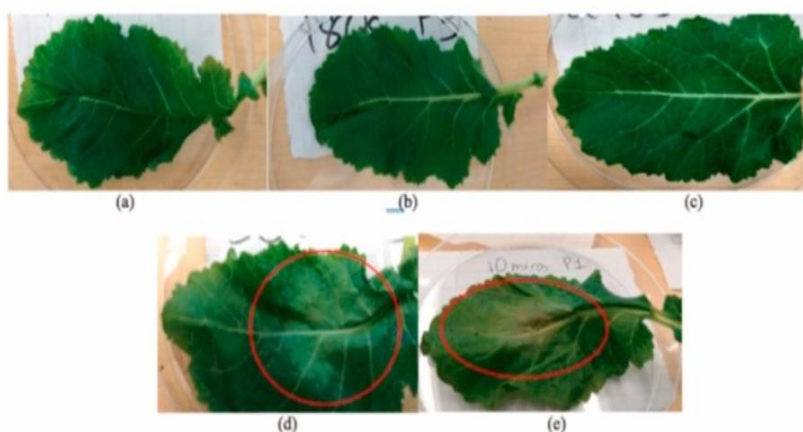
As bananas que passaram pelo tratamento com plasma frio por 10min não apresentaram alterações na perda de peso, cor, textura e teor de açúcar (TRIVEDI *et al.*, 2019).

Segundo Schnabel *et al.* (2015) A atividade de polifenol oxidase caiu significativamente 50% a cada 10 minutos, após o tratamento com plasma e houve uma grande mudança no odor das maçãs tratadas.

De acordo com Baier *et al.* (2015) não se observou mudanças na qualidade de pepinos tratados com plasma de ar.

Conforme Shan *et al.* (2019) investigações sobre folhas de couve tratadas com plasma frio com tempos de (60s, 120s, 180s, 240s e 300s) não relataram alteração significativa de cor durante o período de armazenamento refrigerado por 12 dias. Mas o aumento de exposição de 300s para 600s tem um efeito significativo na coloração das folhas de couve Figura 7.

Figura 7– Efeito do tempo de tratamento com plasma (a) 120s (b) 180s (c) 240s (d) 300s (e) 600s na cor de folhas inteiras de couve



Fonte: Adaptado de Shan *et al.* (2019).

3.5 Disponibilidade no mercado

Segundo Keener e Misra (2016) o plasma frio é uma tecnologia disruptiva para muitos processos atuais de alimentos, incluindo processamento térmico e lavagem com cloro. No entanto, a sua utilização e popularização dependem de aprovação por órgãos governamentais, assim como a definição dos parâmetros, aceitação pelos consumidores e adaptação dos equipamentos ao processo em escala industrial

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir destas evidências, conclui-se que o uso do tratamento com plasma é efetivo no controle de microrganismos, podendo ser uma alternativa ao uso de técnicas convencionas como o cloro, além de ser vantajoso por ser uma tecnologia limpa que não causa grandes alterações nos alimentos, porém ainda não está disponível no mercado nacional neste momento.

REFERÊNCIAS

- AMINI, M.; GHORANNEVISS, M. Effects of cold plasma treatment on antioxidants activity, phenolic contents and shelf life of fresh and dried walnut (*Juglans regia* L.) cultivars during storage. **Lwt**, v. 73, p. 178-184, nov. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.06.014>. Acesso em: 20 jan. 2022.
- AMSON, G. V.; HARACEMIV, S. M. C.; MASSON, M. L. Levantamento de dados epidemiológicos relativos a ocorrências/ surtos de doenças transmitidas por alimentos (DTAs) no Estado do Paraná - Brasil, no período de 1978 a 2000. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 6, p. 1139-1145, 2006.
- ANDRADE, N. J. de.; MACEDO, J. A. B. **Higienização na indústria de alimentos**. São Paulo: Varela, 1996. 182 p.
- ARENSTEIN, I. R. Dióxido de cloro estabilizado em solução aquosa: coadjuvante tecnológico de alimentos. **Higiene Alimentar**, v. 17, n. 107, p. 32-33, 2003.
- ARJUNAN, K.; SHARMA, V.; PTASINSKA, S. Effects of Atmospheric Pressure Plasmas on Isolated and Cellular DNA—A Review. **International Journal Of Molecular Sciences**, v. 16, n. 2, p. 2971-3016, 29 jan. 2015. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms16022971>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25642755/>. Acesso em: 12 jan. 2022.
- ARMITAGE, A. D. *et al.* Discrete lineages within *Alternaria alternata* species group: identification using new highly variable loci and support from morphological characters. **Fungal Biology**, v. 119, n. 11, p. 994-1006, nov. 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.funbio.2015.06.012>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26466875/>. Acesso em: 17 dez. 2021.
- ASL, P. J. *et al.* Non-thermal plasma technique for preservation of fresh foods: a review. **Food Control**, v. 134, p. 108560, abr. 2022. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108560>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713521006988>. Acesso em: 4 jan. 2022.
- BAI, Y. *et al.* Degradation of organophosphorus pesticide induced by oxygen plasma: effects of operating parameters and reaction mechanisms. **Chemosphere**, v. 81, n. 3, p. 408-414, set. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.06.071>. Acesso em: 20 jan. 2022.
- BAIER, M. *et al.* Impact of plasma processed air (PPA) on quality parameters of fresh produce. **Postharvest Biology And Technology**, v. 100, p. 120-126, fev. 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.09.015>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925521414002609>. Acesso em: 12 jan. 2022.

BAIER, M. *et al.* Inactivation of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* O104: H4 using cold atmospheric pressure plasma. **Journal Of Bioscience And Bioengineering**, v. 120, n. 3, p. 275-279, set. 2015.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiosc.2015.01.003>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1389172315000249>.

Acesso em: 12 jan. 2022.

BAIER, M. *et al.* Non-thermal atmospheric pressure plasma: screening for gentle process conditions and antibacterial efficiency on perishable fresh produce. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 22, p. 147-157, abr. 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2014.01.011>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S146685641400023X>. Acesso em: 10 jan. 2022.

BÁRDOS, L.; BARÁNKOVÁ, H. Cold atmospheric plasma: sources, processes, and applications. **Thin Solid Films**, v. 518, n. 23, p. 6705-6713, set. 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tsf.2010.07.044>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0040609010009946#!>. Acesso em: 17 dez. 2021.

BERMÚDEZ-AGUIRRE, D. Advances in the inactivation of microorganisms and viruses in food and model systems using cold plasma. In: **Advances in Cold Plasma Applications for Food Safety and Preservation**. Elsevier, 2020, p.49–91.

BERMÚDEZ-AGUIRRE, D. *et al.* Effect of atmospheric pressure cold plasma (APCP) on the inactivation of *Escherichia coli* in fresh produce. **Food Control**, v. 34, n. 1, p. 149-157, nov. 2013.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.04.022>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713513002065>. Acesso em: 12 jan. 2022.

BHIDE, S. *et al.* Effect of Surface Roughness in Model and Fresh Fruit Systems on Microbial Inactivation Efficacy of Cold Atmospheric Pressure Plasma.

Journal Of Food Protection, v. 80, n. 8, p. 1337-1346, 1 jul. 2017.

International Association for Food Protection. <http://dx.doi.org/10.4315/0362-028x.jfp-17-064>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28708029/>.

Acesso em: 12 jan. 2022.

BILEK, S. E.; TURANTAŞ, F. Decontamination efficiency of high power ultrasound in the fruit and vegetable industry, a review. **International Journal Of Food Microbiology**, v. 166, n. 1, p. 155-162, ago. 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.06.028>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016816051300319X>. Acesso em: 17 dez. 2021.

BOGDANOV, T. *et al.* Microwave Plasma Torch Generated in Argon for Small Berries Surface Treatment. **Applied Sciences**, v. 8, n. 10, p. 1870, 10 out.

2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/app8101870>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/8/10/1870>. Acesso em: 17 dez. 2021.

BOURKE, P. The Potential of Cold Plasma for Safe and Sustainable Cold Plasma (DbdAcp) for *Escherichia Coli* Inactivation in Apple Juice. **Journal**

CRITZER, F. J. *et al.* Atmospheric plasma inactivation of foodborne pathogens on fresh produce surfaces. **Journal Of Food Protection**, v. 70, n.10, p.2290– 2296, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.4315/0362-028X-70.10.2290>. Acesso em: 9 jan. 2022.

D'AGOSTINO, R. *et al.* Low-Temperature Plasma Processing of Materials: past, present, and future. **Plasma Processes And Polymers**, v. 2, n. 1, p. 7-15, 12 jan. 2005. <http://dx.doi.org/10.1002/ppap.200400074>. Disponível em: <https://onlinelibrary.com/doi/10.1002/ppap.200400074>. Acesso em: 17 dez. 2021.

DENG, S. *et al.* Inactivation of *Escherichia coli* on Almonds Using Nonthermal Plasma. **Journal Of Food Science**, v. 72, n. 2, p. 62-66, mar. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00275.x> Acesso em: 21 jan. 2022.

DENG, X.; SHI, J.; KONG, M.G. Physical mechanisms of inactivation of *Bacillus subtilis* spores using cold atmospheric plasmas. **IEEE Transaction on Plasma Science**, v. 34, n.4, p. 1310– 1316, 2006. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1673530>. Acesso em: 20 dez. 2021.

DOLEZALOVA, E.; LUKES, P. Membrane damage and active but nonculturable state in liquid cultures of *Escherichia coli* treated with an atmospheric pressure plasma jet. **Bioelectrochemistry**, v. 103, p. 7-14, jun. 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bioelechem.2014.08.018>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25212700/>. Acesso em: 15 fev. 2022. Food Production. **Trends in Biotechnology**, v.36, p. 615-626, 2017.

FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. **Microbiologia dos alimentos**. 1 ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2001. 192 p.

FRANCO, Bernardette D. G. M.; LANDGRAF, Mariza. **Microbiologia dos Alimentos**. 2 ed. Editora Atheneu: São Paulo: 2003.

GARCIA, P.C.T.V. *et al.* Contaminação microbiana em vegetais minimamente processados: uma revisão. **Journal of the Health Sciences Institute**, v. 33, n. 2, p. 185-192, 2015.

HEO, N. S. *et al.* Microbial inactivation and pesticide removal by remote exposure of atmospheric air plasma in confined environments. **Journal Of Bioscience And Bioengineering**, v. 117, n. 1, p. 81-85, jan. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2013.06.007> Acesso em: 18 fev. 2022.

<https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2017.11.001>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167779917302998>.
Acesso em: 15 fev. 2022.

JAHID, I. K. *et al.* Mixed culture biofilms of Salmonella Typhimurium and cultivable indigenous microorganisms on lettuce show enhanced resistance of their sessile cells to cold oxygen plasma. **Food Microbiology**, v. 46, p. 383-394, abr. 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2014.08.003>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0740002014002020>.
Acesso em: 17 dez. 2021.

JOSÉ, J. F. B. de S. *et al.* Decontamination by ultrasound application in fresh fruits and vegetables. **Food Control**, v. 45, p. 36-50, nov. 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.04.015>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713514001984>.
Acesso em: 17 dez. 2021.

KALGHATGI, S. *et al.* Effects of Non-Thermal Plasma on Mammalian Cells. *Plos One*, v. 6, n. 1, p. 162-170, 21 jan. 2011. **Public Library of Science (PloS)**. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0016270>. Disponível em:
<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0016270>.
Acesso em: 15 fev. 2022.

KEENER, K. M.; MISRA, N. N. Future of Cold Plasma in Food Processing. *Cold Plasma*. In: **Food And Agriculture**, p. 343-360, 2016. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-801365-6.00014-7>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128013656000147#!>.
Acesso em: 12 jan. 2022.

KEENER, K.; JENSEN, J. Atmospheric Plasma Technology in the Meat Industry. **Food Safety Magazine**, 2011. Disponível em: <https://www.food-safety.com/articles/3756-atmospheric-plasma-technology-in-the-meat-industry>.
Acesso em: 2 fev. 2022.

KIM, H. *et al.* Microbial safety and quality attributes of milk following treatment with atmospheric pressure encapsulated dielectric barrier discharge plasma. **Food Control**, v. 47, p. 451-456, jan. 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.07.053>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713514004381>.
Acesso em: 12 jan. 2022.

KUCHENBECKER, M. *et al.* Characterization of DBD plasma source for biomedical applications. **Journal of Physics: Applied Physics**, v. 42, n. 4, 2009. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0022-3727/42/4/045212/meta>. Acesso em: 2 de fev. 2022.

LACKMANN, J. ; BANDOW, J. E. Inactivation of microbes and macromolecules by atmospheric-pressure plasma jets. **Applied Microbiology And Biotechnology**, v. 98, n. 14, p. 6205-6213, 20 maio 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00253-014-5781-9>.

Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24841116/>. Acesso em: 10 jan. 2022.

LACOMBE, A. *et al.* Atmospheric cold plasma inactivation of aerobic microorganisms on blueberries and effects on quality attributes. **Food Microbiology**, v. 46, p. 479-484, abr. 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2014.09.010>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0740002014002408>. Acesso em: 10 jan. 2022.

LAROUSI, M. Low Temperature Plasma-Based Sterilization: overview and state-of-the-art. **Plasma Processes And Polymers**, v. 2, n. 5, p. 391-400, 14 jun. 2005. <http://dx.doi.org/10.1002/ppap.200400078>. Disponível em: <https://onlinelibrary.com/doi/abs/10.1002/ppap.200400078>. Acesso em: 12 jan. 2022.

LAROUSI, M.; MENDIS, D. A; ROSENBERG, M. Plasma interaction with microbes. **New Journal of Physics**, v.5, p. 41, jan. 2003. <https://doi.org/10.1088/1367-2630/5/1/341>. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1367-2630/5/1/341>. Acesso em: 12 jan. 2022.

LEE, H. *et al.* Cold plasma treatment for the microbiological safety of cabbage, lettuce, and dried figs. **Food Microbiology**, v. 51, p. 74-80, out. 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2015.05.004>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26187830/>. Acesso em: 30 nov. 2021.

LIAO, X. *et al.* Application of a Dielectric Barrier Discharge Atmospheric of **Food Science**, v. 83, n. 2, p. 401-408, jan. 2018. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29355961/>. Acesso em: 28 jan. 2022.

LIAO, X. *et al.* Inactivation mechanisms of non-thermal plasma on microbes: a review. **Food Control**, v. 75, p. 83-91, maio 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.12.021>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713516307113>. Acesso em: 17 dez. 2021.

LÓPEZ-GALVEZ, F. *et al.* Cross-contamination of fresh-cut lettuce after a short-term exposure during pre-washing cannot be controlled after subsequent washing R. bras. Tecnol. Agroindustr., Francisco Beltrão, v. 14, n. 2, p. 3359-3379, jul./dez. 2020. Página | 3378 with chlorine dioxide or sodium hypochlorite. **Food Microbiology**, v. 27, p. 199– 204, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2009.09.009>. Acesso em 20 abr 2021.

LU, Q. *et al.* Inactivation of the Tomato Pathogen *Cladosporium fulvum* by an Atmospheric-Pressure Cold Plasma Jet. **Plasma Processes And Polymers**, v. 11, n. 11, p. 1028-1036, 18 ago. 2014. <http://dx.doi.org/10.1002/ppap.201400070>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/264900996_Inactivation_of_the_Toma

to_Pathogen_Cladosporium_fulvum_by_an_Atmospheric-Pressure_Cold_Plasma_Jet. Acessoem: 12 jan. 2022.

LU, X.; LAROUCSI, M.; PUECH, V. On atmospheric pressure non-equilibrium plasma jets and plasma bullets. **Plasma Sources Science and Technology**, v. 21, n. 3, 2012. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0963-0252/21/3/034005/meta>. Acessoem: 12 jan. 2022.

LUNG, H. *et al.* Microbial decontamination of food by electron beam irradiation. **Trends In Food Science & Technology**, v. 44, n. 1, p. 66-78, jul. 2015. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224415000692>. Acessoem: 17 dez. 2021.

MA, L. *et al.* Recent developments in novel shelf life extension technologies of fresh-cut fruits and vegetables. **Trends In Food Science & Technology**, v. 64, p. 23-38, jun. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.03.005> Acessoem: 15 jan. 2022.

MANDAL, R.; SINGH, A.; PRATAP SINGH, A. Recent developments in cold plasma decontamination technology in the food industry. **Trends In Food Science & Technology**, v. 80, p. 93-103, out. 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.014>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224417307173>. Acessoem: 12 jan. 2022.

MAO, L. *et al.* Cold plasma: Microbial inactivation and effects on quality attributes of fresh and minimally processed fruits and Ready-To-Eat vegetables.

MATTHES, R. *et al.* Antimicrobial Efficacy of an Atmospheric Pressure Plasma Jet Against Biofilms of *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus epidermidis*. **Plasma Processes And Polymers**, v. 10, n. 2, p. 161-166, 1 out. 2012. <http://dx.doi.org/10.1002/ppap.201100133>.

MENDIS, D.; ROSENBERG, M; AZAM, F. A note on the possible electrostatic disruption of bacteria. **IEEE Transactions on Plasma Science**, vol. 28, no. 4, pp. 1304-1306, ago. 2000. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/893321>. Acesso em: 15 fev. 2022.

MIR, S. A. *et al.* Promising applications of cold plasma for microbial safety, chemical decontamination and quality enhancement in fruits. **Journal of Applied Microbiology**, v. 129, n. 3, p. 474-485, 2019. Disponível em: <https://sfamjournals.onlinelibrary.com/doi/epdf/10.1111/jam.14541>. Acessoem: 2 fev. 2022.

MIR, S. A.; SHAH, M. A.; MIR, M. M. Understanding the role of plasma technology in food industry. **Food and Bioprocess Technology**, v. 9, p. 734–750, 2016.

MISRA, N. N. *et al.* Cold plasma interactions with enzymes in foods and model systems. **Trends In Food Science & Technology**, v. 55, p. 39-47, set. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2016.07.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092422441630231X>. Acesso em: 12 jan. 2022.

MISRA, N. N. *et al.* In-package atmospheric pressure cold plasma treatment of cherry tomatoes. **Journal Of Bioscience And Bioengineering**, v. 118, n. 2, p. 177-182, ago. 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiosc.2014.02.005>.

MISRA, N. N. *et al.* In-package cold plasma technologies. **Journal Of Food Engineering**, v. 244, p. 21-31, mar. 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.09.019>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877418304072>. Acesso em: 4 jan. 2022.

MOISAN, M. *et al.* Low-temperature sterilization using gas plasmas: a review of the experiments and an analysis of the inactivation mechanisms. **International Journal Of Pharmaceutics**, v. 226, n. 1-2, p. 1-21, set. 2001. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s0378-5173\(01\)00752-9](http://dx.doi.org/10.1016/s0378-5173(01)00752-9). Acesso em: 28 jan. 2021.

MONTIE, T. C.; KELLY-WINTENBERG, K.; ROTH, J. R. **IEEE Transactions on Plasma Science**, vol. 28, no. 1, pp. 41-50, fev. 2000. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/842860>. Acesso em: 15 fev. 2022.

MORETTI, C. L. Panorama Internacional do Processamento Mínimo. In: **V Enc. Nac. sobre Processamento Mínimo de Frutas e Hortaliças**, 2008, Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2008. v. 1. p. 28-33.

MUHAMMAD, A. I. *et al.* Effects of Nonthermal Plasma Technology on Functional Food Components. **Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety**, v. 17, n. 5, p. 1379-1394, 6 ago. 2018. <http://dx.doi.org/10.1111/1541-4337.12379>. Disponível em: <https://ift.onlinelibrary.com/doi/abs/10.1111/1541-4337.12379#:~:text=The%20effects%20reported%20to%20date,efficiency%20of%20polyphenols%20is%20observed>. Acesso em: 12 jan. 2022.

NASCIMENTO, I. O. **Construção de um aparato experimental para monitoramento in situ da deposição de filmes finos de titânio por magnetronsputtering**. 2011. 94 f. Dissertação (Mestrado em Processamento de Materiais a partir do Pó; Polímeros e Compósitos; Processamento de Materiais a part) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

NIEMIRA, B. A. Cold Plasma Decontamination of Foods. **Annual Review Of Food Science And Technology**, v. 3, n. 1, p. 125-142, 10 abr. 2012. Annual Reviews. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-food-022811-101132>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22149075/#:~:text=Cold%20plasma%20is%20>

a%20novel,poultry%2C%20fruits%2C%20and%20vegetables. Acesso em: 17 dez. 2021.

NIEMIRA, B. A.; GUTSOL, A. Nonthermal Plasma as a Novel Food Processing Technology. **Nonthermal Processing Technologies For Food**, p. 271-288, 20 abr. 2011. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1002/9780470958360.ch20>.

Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/240918158_Nonthermal_Plasma_as_a_Novel_Food_Processing_Technology. Acesso em: 17 dez. 2021.

NISHIME, T. M.C. *et al.* Non-thermal atmospheric pressure plasma jet applied to inactivation of different microorganisms. **Surface and Coatings Technology**, v. 312, p. 19-24, 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/178374>.

Acesso em: 4 jan. 2022.

NIVEDITHA, A. *et al.* Application of cold plasma and ozone technology for decontamination of Escherichia coli in foods: a review. **Food Control**, p. 0956-7135. 2021. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108338>. Acesso em: 2 fev. 2022.

NOSENKO, T.; SHIMIZU, T.; MORFILL, G. E. Designing plasmas for chronic wound disinfection. **New Journal of Physics**, v. 11, nov. 2009. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1367-2630/11/11/115013>. Acesso em: 2 fev. 2022.

NOTERMANS, S.; HOOGENBOOM-VERDEGAAL, A. Existing and emerging foodborne diseases. **International Journal Of Food Microbiology**, v. 15, n. 3-4, p. 197-205, mar. 1992. [http://dx.doi.org/10.1016/0168-1605\(92\)90049-9](http://dx.doi.org/10.1016/0168-1605(92)90049-9). Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0168160592900499#!>. Acesso em: 17 dez. 2021.

OEHMIGEN, K. *et al.* The Role of Acidification for Antimicrobial Activity of Atmospheric Pressure Plasma in Liquids. **Plasma Processes And Polymers**, v. 7, n. 3-4, p. 250-257, 18 mar. 2010. <http://dx.doi.org/10.1002/ppap.200900077>.

Disponível em: <https://onlinelibrary.com/doi/abs/10.1002/ppap.200900077>.

Acesso em: 2 fev. 2022.

OSTRY, V. Alternaria mycotoxins: an overview of chemical characterization, producers, toxicity, analysis and occurrence in foodstuffs. **World Mycotoxin Journal**, v. 1, n. 2, p. 175-188, 1 maio 2008. Wageningen Academic Publishers. <http://dx.doi.org/10.3920/wmj2008.x013>. Disponível em:

<https://www.wageningenacademic.com/doi/abs/10.3920/WMJ2008.x013>.

Acesso em: 2 fev. 2022.

PAIVA, C. P.; BORGES, R. G.; PANETTA, J. C. Frequência de quadros gastroentéricos em aeronautas: Pressuposta ligação com toxinfecções alimentares. **Higiene Alimentar**, São Paulo, v. 14, n. 75, p. 13-23, Fev. 2000.

PALMA-SALGADO, S. *et al.* Whole-head washing, prior to cutting, provides sanitization advantages for fresh-cut Iceberg lettuce (*Lactuca sativa* L.).

International Journal Of Food Microbiology, v. 179, p. 18-23, jun. 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.03.018>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24704862/>. Acesso em: 12 jan. 2022.

PAN, Y.; CHENG, J.; SUN, D. Cold Plasma-Mediated Treatments for Shelf Life Extension of Fresh Produce: a review of recent research developments.

Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety, v. 18, n. 5, p. 1312-1326, set. 2019. <http://dx.doi.org/10.1111/1541-4337.12474>. Disponível em: <https://ift.onlinelibrary.com/doi/abs/10.1111/1541-4337.12474>. Acesso em: 12 jan. 2022

PANKAJ, S. K.; WAN, Z.; KEENER, K. M. Effects of Cold Plasma on Food Quality: a review. **Foods**, v. 7, n. 1, p. 4, 1 jan. 2018. MDPI AG.

<http://dx.doi.org/10.3390/foods7010004>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29301243/#:~:text=The%20impact%20of%20C%20P%20on,sensory%20attributes%20of%20various%20products>. Acesso em: 2 fev. 2022.

PASQUALI, F. *et al.* Atmospheric cold plasma process for vegetable leaf decontamination: a feasibility study on radicchio (red chicory, *cichorium intybus* L.). **Food Control**, v. 60, p. 552-559, fev. 2016.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.08.043>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095671351530178X>. Acesso em: 17 dez. 2021.

PERNI, S.; SHAMA, G.; KONG, M. G. Cold Atmospheric Plasma Disinfection of Cut Fruit Surfaces Contaminated with Migrating Microorganisms. **Journal Of Food Protection**, v. 71, n. 8, p. 1619-1625, 1 ago. 2008. International Association for Food Protection.

<http://dx.doi.org/10.4315/0362-028x-71.8.1619>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18724756/>. Acesso em: 12 jan. 2022.

PIGNATA, C. *et al.* A review on microbiological decontamination of fresh produce with nonthermal plasma. **Journal Of Applied Microbiology**, v. 122, n. 6, p. 1438-1455, 3 abr. 2017. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1111/jam.13412>. Acesso em: 19 jan. 2022.

PIGNATA, C. *et al.* Low-temperature, low-pressure gas plasma application on *Aspergillus brasiliensis*, *Escherichia coli* and pistachios. **Journal Of Applied Microbiology**, v. 116, n. 5, p. 1137-1148, 14 fev.

2014. <http://dx.doi.org/10.1111/jam.12448>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24443877/>. Acesso em: 17 dez. 2021.

RAMAZZINA, I. *et al.* Effect of cold plasma treatment on physico-chemical parameters and antioxidant activity of minimally processed kiwifruit.

Postharvest Biology And Technology, v. 107, p. 55-65, set. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.04.008>. Acesso em: 10 jan. 2022.

REUTER, S. *et al.* From RONS to ROS: tailoring plasma jet treatment of skin cells. **IEEE Transactions on Plasma Science**, v. 40, n. 11, p. 2986-2993, nov. 2012. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).
<http://dx.doi.org/10.1109/tps.2012.2207130>.

SARANGAPANI, C. *et al.* Atmospheric cold plasma dissipation efficiency of agrochemicals on blueberries. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 44, p. 235-241, dez. 2017.
Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.02.012> .Acesso em: 15 jan. 2022.

SCHLÜTER, O.; FRÖHLING, A. Non-Thermal Processing: Cold Plasma for Bioefficient Food Processing. **Encyclopedia of Food Microbiology: Second Edition**, v. 2, p. 948–953, 2014.

SCHNABEL, U. *et al.* Decontamination and sensory properties of microbiologically contaminated fresh fruits and vegetables by microwave plasma processed air (PPA). **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, n.6, p. 653–662, 2015. Disponível em:
<https://ifst.onlinelibrary.com/doi/10.1111/jfpp.12273>. Acesso em: 12 jan. 2022.

SOUSA, T. L. T. L.; *et al.* Vantagens e Desvantagens da Irradiação na Conservação de Alimentos. **Xiii Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão–JEPEX 2013 –UFRPE**: Recife, 2013.

SHAH, U. *et al.* Effects of cold plasma treatments on spot-inoculated *Escherichia coli* O157: H7 and quality of baby kale (*brassica oleracea*) leaves. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 57, p. 102104, out. 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2018.12.010>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1466856418302571>. Acesso em: 12 jan. 2022.

SREY, S. *et al.* Reduction effect of the selected chemical and physical treatments to reduce *L. monocytogenes* biofilms formed on lettuce and cabbage. **Food Research International**, v. 62, p. 484-491, ago. 2014.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2014.03.067>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996914002361>. Acesso em: 12 jan. 2022.

THIYAGARAJAN, M.; SARANI, A.; GONZALES, X. Atmospheric pressureresistive barrier air plasma jet induced bacterial inactivation in aqueous environment. **Journal of Applied Physics**, v. 113, n. 9, 2013. Disponível em: <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.4794333>. Acesso em: 12 jan. 2022.

TONDO, E. C. BARTZ, S. **Microbiologia e Sistemas de Gestão da Segurança de Alimentos**. Vol. 2. Porto Alegre: Editora Sulina, 2014.

Trends in Food Science; Technology, v.116, p. 146-175, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.002>. Acesso em: 2 fev. 2022.

TRIVEDI, M. H. *et al.* Enhancing shelf life of bananas by using atmospheric pressure pulsed cold plasma treatment of the storage atmosphere. **Plasma Medicine**, v.9, n.1, p. 23–38, 2019. Disponível em: <https://www.dl.begellhouse.com/journals/5a5b4a3d419387fb,3085539f336a35f8,0c1fba5e300be21e.html>. Acesso em: 12 jan. 2022.

TRONCOSO-ROJAS, R.; TIZNADO-HERNÁNDEZ, M. E. *Alternaria alternata* (Black Rot, Black Spot). **Postharvest Decay**, p. 147-187, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-411552-1.00005-3>. Acesso em 5 fev. 2022.

WELTMANN, K. *et al.* Atmospheric-pressure plasma sources: prospective tools for plasma medicine. **Pure And Applied Chemistry**, v. 82, n. 6, p. 1223-1237, 20 abr. 2010. Walter de Gruyter GmbH. Disponível em: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1351/PAC-CON-09-10-35/html>. Acesso em: 12 jan. 2022.

WHO (World Health Organization). **Food safety**. 2020. Disponível em: <https://www.who.int/NEWS-ROOM/FACT-SHEETS/DETAIL/FOOD-SAFETY>. Acesso em: 2 fev. 2022.

WON, M. Y.; LEE, S. J.; MIN, S. C. Mandarin preservation by microwave-powered cold plasma treatment. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 39, p. 25-32, fev. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.10.021>. Acesso em: 19 jan. 2022.

XIONG, Z. *et al.* How deep can plasma penetrate into a biofilm? **Applied Physics Letters**, v. 98, n. 22, p. 221503, 30 maio 2011. Disponível em: <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.3597622>. Acesso em: 17 dez. 2021.

ZHANG, M. *et al.* Bactericidal effects of nonthermal low-pressure oxygen plasma on *S. typhimurium* LT2 attached to fresh produce surfaces. **Journal Of Food Engineering**, v. 119, n. 3, p. 425-432, dez. 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877413003002>. Acesso em: 20 dez. 2021.