

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ALIMENTOS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ALIMENTOS

BRUNA PAOLA LESSE AMORIM

**USO DE RADIAÇÃO CATALÍTICA IONIZANTE NA DESCONTAMINAÇÃO DE
UMA LINHA DE PROCESSAMENTO DE ABATEDOURO DE AVES**

MEDIANEIRA - PARANÁ
2019

BRUNA PAOLA LESSE AMORIM

**USO DE RADIAÇÃO CATALÍTICA IONIZANTE NA DESCONTAMINAÇÃO DE
UMA LINHA DE PROCESSAMENTO DE ABATEDOURO DE AVES**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II do Curso Superior de Tecnologia em Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR-Câmpus Medianeira, como requisito parcial para obtenção do Título de Tecnóloga em Alimentos.

Orientadora: Profa. Dra. Deisy A. Drunkler.

Co-orientadora: Profa. Dra. Cristiane Canan.

MEDIANEIRA
2019



TERMO DE PROVAÇÃO

**USO DE RADIAÇÃO CATALÍTICA IONIZANTE NA DESCONTAMINAÇÃO DE UMA
LINHA DE PROCESSAMENTO DE ABATEDOURO DE AVES**

POR

BRUNA PAOLA LESSE AMORIM

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado em 28 de junho de 2019 às 09:10 horas, como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnóloga em Alimentos. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Prof^a. Dr^a. Deisy Alessandra Drunkler

Orientadora

Prof. Me. Fábio Avelino Bublitz Ferreira

Membro da banca

Prof. Dr. Valdemar Padilha Feltrin

Membro da banca

Nota: O documento original e assinado pela Banca Examinadora encontra-se na Coordenação do Curso de Tecnologia em Alimentos da UTFPR, Câmpus Medianeira.

Dedico este trabalho a minha filha Laura e meu esposo Rodrigo, grandes incentivadores, que compreenderam os momentos de ausência e sempre contribuíram para a realização deste sonho.

AGRADECIMENTOS

Ao meu esposo e filha pelo amor, apoio e compreensão.

Agradeço meus pais, sogro e sogra por toda a ajuda e tempo empregado em cuidar de mim e minha família em todo período da minha formação.

Aos meus irmãos e sobrinhos pela parceria e incentivo que fizeram entender que o futuro é feito a partir da dedicação no presente.

Obrigado a todos os familiares por apoiar e entender minha ausência durante este período.

Agradeço a minha orientadora Profa. Dra. Deisy Alessandra Drunkler e Co-orientadora Profa. Dra. Cristiane Canan, por todo o tempo investido, conhecimento compartilhado, apoio e paciência no período de estudo para elaboração deste trabalho.

Meus agradecimentos aos amigos, companheiros de trabalho e irmãos na amizade que fizeram parte da minha formação acadêmica e pessoal.

RESUMO

AMORIM, Bruna Paola Lesse. Uso de radiação catalítica ionizante na descontaminação de uma linha de processamento de abatedouro de aves. 2019. 37f. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso Superior de Tecnologia em Alimentos. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2019.

O objetivo deste trabalho foi verificar o efeito do uso de radiação catalítica ionizante no processo industrial de frangos, em especial na linha de produtos IQF (*Individually Quick Frozen*), onde as condições microbiológicas foram determinadas através da análise do ar ambiente da sala de processamento, da superfície dos equipamentos onde os produtos eram manipulados e dos cortes de frango processados. O estudo foi realizado em um abatedouro comercial de aves. Os tratamentos consistiram em: controle (sem utilização do equipamento de radiação catalítica ionizante - RCI), e utilização do equipamento; as semanas de coletas para cada tratamento; os tempos distintos de coleta durante o dia (dias aleatórios da semana) e amostragem em duplicata. O modelo experimental adotado foi o esquema fatorial triplo (tratamento x semana x tempo), com parcela subdividida (amostra). Os dados de contagem de contagem total de bactérias, *Enterobacteriaceae*, mesófilos aeróbios e coliformes 45°C foram analisados usando análise de variância; os resíduos foram testados quanto à normalidade e homocedasticidade e, quando violados, foi utilizada uma transformação adequada dos dados. As variáveis analisadas de genes *Salmonella* spp. foi multivariada para estabelecer a correspondência entre os resultados de ausência e presença de genes alvos e determinar a diferença entre tratamentos. Os resultados apresentados demonstraram que com a utilização da radiação catalítica ionizante (RCI), ocorreu redução significativa da contagem de contagem total de bactérias, *Enterobacteriaceae* e mesófilos aeróbios, no ambiente e na superfície ($p < 0,05$). Porém, não houve diferença significativa entre os tratamentos controle e o emprego da radiação catalítica para as contagens de coliformes 45°C e *Salmonella* spp. nos cortes de frango ($p > 0,05$). Conclui-se que o RCI foi um método eficaz de redução de contagem bacteriana ambiental e das superfícies examinadas. No entanto, sua atuação nas carcaças e cortes de frango não foi observada, principalmente devido ao rápido tempo de exposição.

Palavras-chave: frango, segurança alimentar, contaminação ambiental

ABSTRACT

AMORIM, Bruna Paola Lesse. Use of ionizing catalytic radiation in the decontamination of a poultry slaughterhouse processing line. 2019. 38f. Completion of course work. Superior Course in Food Technology. Federal Technological University of Paraná. Medianeira, 2019.

The objective of this work was to verify the effect of the use of ionizing catalytic radiation on the industrial process of chickens, especially in the IQF (Individually Quick Frozen) product line, where the microbiological conditions were determined through the ambient air analysis of the processing room, surface of the equipment where the products were handled and the cuts of processed chicken. The study was carried out in a commercial poultry slaughterhouse. The treatments consisted of: control (without using the equipment of ionizing catalytic radiation - RCI), and equipment utilization; the collection weeks for each treatment; the different collection times during the day (random days of the week) and sampling in duplicate. The experimental model adopted was the triple factorial scheme (treatment x week x time), with a subdivided plot (sample). Total viable bacteria counts, Enterobacteriaceae, aerobic mesophylls and coliforms at 45 °c were analyzed using analysis of variance; the residues were tested for normality and homoscedasticity and, when violated, an adequate transformation of the data was used. The analyzed variables of Salmonella spp. was multivariate to establish the correspondence between the absence and presence of target genes and to determine the difference between treatments. When ANOVA was significant ($p < 0.05$), the Tukey test was performed. The results showed that with the use of ionizing catalytic radiation (RCI), a significant reduction of the total viable bacteria, Enterobacteriaceae and aerobic mesophylls, was observed in the environment and at the surface ($p < 0.05$). However, there was no significant difference between the control treatment and the use of catalytic radiation for the counts of coliforms at 45 °c and Salmonella spp. in the chicken cuts ($p > 0.05$). It is concluded that RCI has proved to be an effective method of reducing environmental bacterial counts and the surfaces examined. However, its performance in carcasses and chicken cuts was not observed, mainly due to the exposure time.

Key words: poultry, slaughterhouse, decontamination, ionizing catalytic radiation

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO GERAL	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3. REVISÃO DE LITERATURA	12
3.1 CARNE DE FRANGO E A QUALIDADE MICROBIOLÓGICA	12
3.2 APLICAÇÃO DE TECNOLOGIAS NO CONTROLE MICROBIOLÓGICO DAS CARNES E PRODUTOS CÁRNEOS	13
3.3 PRINCÍPIO DA RADIAÇÃO IONIZANTE	15
3.4 RADIAÇÃO IONIZANTE CATALÍTICA – RCI.....	16
4. MATERIAL E METODOS	19
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL ONDE FOI APLICADA A IONIZAÇÃO RÁDIO CATALÍTICA	19
4.2 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS.....	23
4.2.1 Avaliação da Contaminação Ambiental	23
4.2.2 Avaliação da Contaminação dos Cortes de Frango.....	24
4.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
5.1 AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL	26
5.2 AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DOS CORTES DE FRANGO.....	29
6. CONCLUSÃO	32
REFERÊNCIAS	33

1. INTRODUÇÃO

O consumo da carne de frango é mundialmente crescente, sendo uma das carnes mais consumidas no Brasil. Com um consumo per capita de 42,07 kg/hab., a produção de frangos no Brasil vem aumentando ano a ano e superou 13,05 milhões de toneladas em 2017, assumindo o segundo lugar de produção mundial (ABPA, 2018). Deste volume de carne produzido, 66,9% foram destinadas ao consumo interno e 33,1% para as exportações. A região Sul do Brasil é destaque nas exportações devido ao modelo de produção integrado, ao tamanho do mercado, às inovações na produção, no abate, no processamento, e na estrutura portuária (COSTA; GARCIA; BRENE, 2015).

A expressão internacional do país como exportador de alimentos de origem animal, e as crescentes exigências do mercado interno, faz com que a cadeia produtiva se preocupe com a segurança dos alimentos. Nos últimos anos há ênfase em fundamentos científicos para o estabelecimento de padrões, especificações e recomendações aplicadas ao controle de alimentos, com o objetivo de assegurar ao consumidor a aquisição de produtos que não ofereçam risco à saúde (ANDRADE, 2014).

Os alimentos sofrem inúmeras alterações físicas, químicas e microbiológicas durante o processo de manipulação e armazenamento. Carnes e produtos de origem animal sofrem alterações principalmente pela ação de microrganismos que causam deterioração e outros que representam perigo à saúde pública podendo causar doenças e intoxicações. Este fato reforça a importância das análises microbiológicas na determinação da qualidade dos alimentos (BRAGA, 2018; ANDRADE, 2014; MIYAGUSKU, 2008).

Muitas tecnologias têm sido aplicadas na indústria de alimentos visando reduzir os níveis de contaminação microbiológica e, por conseguinte, melhorar a qualidade dos alimentos e aumentar a vida útil, tais como tecnologias baseadas no emprego do frio (SOUSA et al. 2013), alta pressão hidrostática (MUNTEAN et al. 2016), atmosfera modificada (GUERRA et al. 2017), aplicação de ozônio (ORTEGA et al. 2007) e o emprego de radiação ionizante (DUTRA et al. 2014).

A radiação é uma tecnologia que tem se destacado no tratamento de carnes, consiste em expor a carne à radiação ionizante produzida por máquinas de feixes de elétrons ou por fontes radioativas (HAM et al. 2017).

As tecnologias de radiação têm sido difundidas para aplicação em alimentos, neste âmbito podemos destacar a tecnologia de radiação catalítica ionizante (RCI do inglês *Radiant Catalytic Ionization*) desenvolvida pelos programas espaciais dos Estados Unidos (1990) que utiliza o princípio da oxidação fotocatalítica, no qual a Radiação Ultravioleta (UV), o Dióxido de Titânio (TiO₂) e o Peróxido de Hidrogênio (H₂O₂) são utilizados para a quebra de moléculas orgânicas. A fotocatalise é comumente utilizada e já estão disponíveis comercialmente produtos que utilizam funções fotocatalíticas (HASHIMOTO; IRIE; FUJISHIMA, 2005).

A tecnologia de radiação catalítica ionizante (RCI) mostrou-se eficiente na redução de muitos microrganismos, como *Clostridium perfringens*, *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, *Salmonella enteritidis*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus epidermidis*, *Bacillus subtilis*, *Clostridium sporogenes*, *Candida albicans*, *Aspergillus niger*, *Penicillium chrysogenum*, *Streptococcus pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus globigii* e *Stachybotrys chartarum* (SKOWRON et al. 2018; TEODORO et al. 2017; ORTEGA et al. 2007; FERREIRA; DANIEL, 2005;)

Com base no acima exposto, o objetivo do presente trabalho foi verificar o efeito do processo de radiação catalítica ionizante no processamento de frangos, em especial na linha de produtos IQF (*Individually Quick Frozen*), onde as condições microbiológicas serão determinadas analisando a qualidade do ar ambiente e superfícies de manipulação da sala de processamento, bem como análise da qualidade microbiológica dos cortes de frango.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a capacidade de redução ou eliminação de microrganismos pela aplicação de radiação catalítica ionizante, analisando a qualidade do ar ambiente, superfície dos equipamentos e cortes de frango produzidos em uma sala de produção de IQF (*Individually Quick Frozen*).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a qualidade microbiológica do ar ambiente da sala de processamento antes e após o emprego da tecnologia de radiação catalítica ionizante (RCI), mediante sedimentação em placas de Petri contendo meios de cultura para contagem padrão de microrganismos mesófilos aeróbios.
- Avaliar a qualidade microbiológica da superfície dos equipamentos pela técnica de *swab* de superfície e posterior enumeração de *Enterobacteriaceae* e contagem total de bactérias.
- Avaliar a qualidade microbiológica dos produtos fabricados na sala de produção de IQF (*Individually Quick Frozen*), realizando análises de coliformes 45°C e *Salmonella* spp. nos cortes de frango.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 CARNE DE FRANGO E A QUALIDADE MICROBIOLÓGICA

A carne é um excelente meio de contaminação e desenvolvimento para os microrganismos, pois apresenta fatores intrínsecos que favorecem o crescimento microbiano, como, alta atividade de água, elevado valor nutricional e pH próximo à neutralidade. As carnes podem ser contaminadas durante a manipulação e o processamento principalmente devido às condições inadequadas de higiene dos manipuladores e do ambiente, favorecendo assim o crescimento de microrganismos que podem reduzir a vida útil de carnes e produtos cárneos. Uma vez que as condições adequadas de higiene são praticadas podem melhorar o controle do processo de deterioração destes produtos (ANDRADE, 2014; SOUZA et al. 2014; ALCANTARA; MORAIS; SOUZA, 2012).

A microbiota da carne é composta de microrganismos mesófilos e psicrotróficos, bem como por bactérias patogênicas como *Salmonella* spp., *Campylobacter*, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens* e *Listeria monocytogenes*. São deterioradas pelo crescimento e atividade metabólica de bactérias Gram-negativas como as *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Moraxella*, *Shewanella putrefaciens*, e por algumas espécies da família *Enterobacteriaceae* e *Lactobacillus*, leveduras e bolores (BRAGA, 2018; ALCANTARA; MORAIS; SOUZA, 2012; JAY, 2005).

A legislação brasileira estabelece padrões microbiológicos para alimentos, segundo a qual deve ser realizada análise de Coliformes a 45°C para carnes *in natura* e não preconiza análises de outros microrganismos em carnes *in natura*, mas estabelece análises de *Salmonella* spp. e estafilococos coagulase positiva em carnes embaladas a vácuo, não maturadas (BRASIL, 2001).

Dentre os principais fatores limitantes da vida útil das carnes de frango destacam-se o crescimento de microrganismos e as atividades enzimáticas o que

podem ser retardadas com a proteção das embalagens e emprego de agentes descontaminantes (OLIVEIRA et al. 2011).

A indústria avícola deve estar consciente de que há muito por ser feito no sentido de garantir uma melhor qualidade microbiológica dos produtos, o que certamente inclui a adoção de práticas de implantação de tecnologias visando atingir este objetivo (SOUZA et al. 2014).

3.2 APLICAÇÃO DE TECNOLOGIAS NO CONTROLE MICROBIOLÓGICO DAS CARNES E PRODUTOS CÁRNEOS

A contaminação microbiana pode ser apontada como a principal causa de perdas econômicas relacionadas a produtos cárneos e problemas ligados a saúde do consumidor (JAY, 2005). Com base nas informações referentes ao processo produtivo e características dos produtos pode-se então empregar tecnologias que atuam retardando o processo de deterioração dos produtos cárneos, aumentando assim a vida útil e oferecendo maior segurança aos consumidores (ALCANTARA; MORAIS; SOUZA, 2012).

Uma tecnologia bastante difundida na conservação dos produtos cárneos é o emprego do frio, aplicada a diversos alimentos em geral perecíveis, que tem como principal finalidade manter a estabilidade microbiológica retardando o crescimento microbiano e assim aumentar a vida útil dos alimentos. O frio pode ser aplicado com o intuito de resfriamento ou congelamento dos alimentos frescos ou processados. Este método não apresenta característica de inativação, mas de inibição dos processos deteriorantes como atividade microbiológica e enzimática durante o processamento, transporte ou comercialização (SOUSA et al. 2013).

A alta pressão hidrostática também tem se apresentado como uma tecnologia promissora para o aumento da vida útil dos alimentos. Estudos realizados por Muntean et al. (2016) mostraram que a alta pressão afeta os microrganismos de maneira similar a ação dos componentes químicos sobre os alimentos, causando desnaturação das proteínas e danificando letalmente as células das bactérias, já para as bactérias esporuladas a alta pressão hidrostática deve ser aplicada em

conjunto com outro agente bactericida, por exemplo, o calor, para resultar em uma redução significativa da carga microbiana.

Guerra et al. (2017) estudaram a aplicação da tecnologia de embalagem com atmosfera modificada sobre filés de tilápia do nilo, aplicando em embalagens de nylon-polietileno a concentração de 80%CO₂ + 20%O₂ e 100%CO₂. Para os tratamentos realizados obtiveram resultados positivos na redução de bactérias psicotróficas e microrganismos do grupo coliformes.

O ozônio é uma tecnologia que vem sendo aplicada principalmente nas indústrias de carnes e laticínios, é uma forma triatômica do oxigênio com alto poder sanificante e degradação rápida. Ortega et al. (2007) realizaram em laboratório um estudo inoculando sobre superfícies de aço *S. aureus*, *E. coli*, *Bacillus* spp., *Streptococcus* spp., *P. aeruginosa*, *L. monocytogenes*, *C. albicans* e *S. chartarum* e verificaram que houve uma redução significativa na carga microbiana superficial após duas horas de exposição ao ozônio.

A aplicação de radiação gama também apresentou resultados positivos quanto à inativação de esporos de *Clostridium botulinum*, de acordo com estudo realizado com mortadelas e diferentes teores de nitrito. Em mortadelas cruas não irradiadas e sem adição de nitrito, quase todos os esporos puderam ser recuperados e com adição de 150ppm de nitrito somente metade foi recuperada. O uso de 150ppm de nitrito foi capaz de inibir a germinação ou crescimento de *Clostridium botulinum* em mortadelas cozidas não irradiadas após 48h de processamento. No entanto, após 30 dias de resfriamento foi possível recuperar 10⁵UFC/g deste microrganismo. A radiação gama teve um efeito positivo na inativação de *Clostridium botulinum* em mortadelas inteiras de aproximadamente 400g, independente do nível de nitrito de sódio (DUTRA et al. 2014).

Atualmente, a limpeza e desinfecção nas áreas industriais têm sido realizadas pelo emprego de produtos químicos, tais como detergentes ácidos, alcalinos ou tenso ativos, e desinfetantes como formaldeído, fenol, cloro, compostos clorados, binguanida ou clorexidina, soluções de iodo, quaternários de amônio e ácido peracético. A utilização dos produtos químicos apresenta risco a segurança alimentar e dos manipuladores dos produtos químicos. Assim, o emprego de tecnologias não químicas apresenta grandes benefícios para toda a cadeia de processamento minimizando erros de manipulação, incidência de contaminação cruzada, danos ocupacionais e resíduos de contaminantes (SILVA, 2008).

3.3 PRINCÍPIO DA RADIAÇÃO IONIZANTE

A radiação ionizante produz partículas carregadas eletricamente, chamadas íons. As partículas carregadas de energia eletromagnética favorecem a quebra de cadeia de DNA dos microrganismos eliminando-os ou tornando incapazes de se reproduzirem. A colisão direta da radiação com regiões sensíveis das células inativa grande parte dos microrganismos. Outra forma de esterilização utilizando radiação ionizante é indireta onde à interação da radiação com a água presente nos organismos ou ambiente forma radicais hidroxilas ($\text{OH}\cdot$ e $\text{H}\cdot$) e moléculas de H_2O_2 (peróxido de hidrogênio) que reagem causando danos à molécula de DNA, conforme Figura 1 (PINTO; MOREIRA, 2018; SILVA; SILVA; AQUINO, 2014; NOVAES et al. 2012).

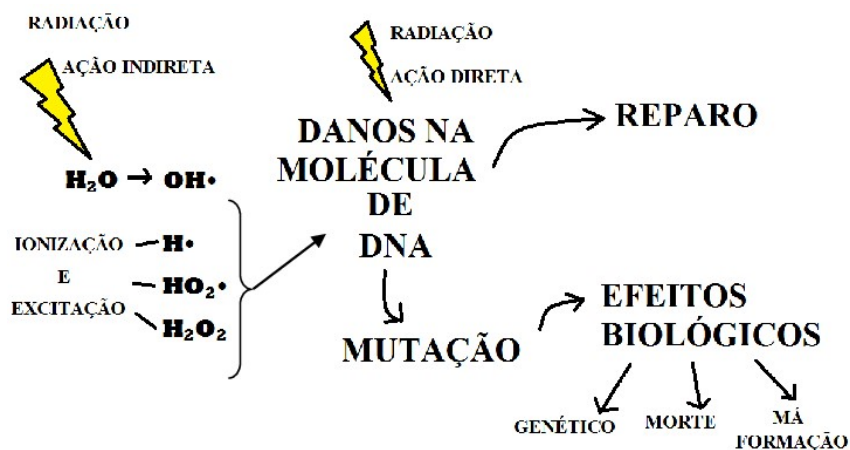


Figura 1 - Ações da radiação ionizante nas células

Fonte: Silva; Silva; Aquino, (2014).

As radiações ionizantes incluem a radiação gama que são as mais aplicadas em alimentos. A radiação gama é obtida a partir de isótopos na desintegração radioativa do cobalto de massa 60 ou do césio de massa 137 e atua eliminando microrganismos e/ou inibindo alterações bioquímicas (BRAGA, 2018).

A radiação ionizante é uma tecnologia promissora importante na indústria alimentícia, pois reduz a carga de microrganismos deteriorantes reduzindo custos para as empresas e a incidência de doenças alimentares através da eliminação de patógenos (PINTO; MOREIRA, 2018).

3.4 RADIAÇÃO IONIZANTE CATALITICA – RCI

A tecnologia de radiação catalítica ionizante baseia-se na purificação fotocatalítica, desenvolvida pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), que utiliza o comprimento de onda de 254 nm e o fenômeno de foto-oxidação na presença de radiação ultravioleta e fotocatalisadores de TiO_2 (dióxido de titânio), que compõem o revestimento hidrofílico da superfície das matrizes no módulo RCI, reagindo formando um plasma de H_2O_2 resultando em radicais hidroxilas que agem como um bactericida oxidante (GRINSHPUN et al. 2007; CHO et al. 2005).

A purificação fotocatalítica não emprega produtos químicos em sua ação bactericida, portanto não gera resíduos que possam apresentar toxicidade aos alimentos e manipuladores. Apresenta como subprodutos água e oxigênio, desta forma não apresentam risco de contaminações cruzadas e danos ocupacionais, podendo assim ser utilizado simultaneamente ao processamento de carnes não sendo necessário um tempo específico de parada para higienização (SKOWRON et al. 2018). A oxidação do H_2O_2 é baseada na irradiação ultravioleta da molécula em comprimento de onda de 200 a 300nm ocasionando a quebra da ligação sigma O-O (oxigênio-oxigênio) da molécula de H_2O_2 gerando radicais hidroxilas, que reage degradando moléculas orgânicas, e os produtos da reação são oxigênio e água (ARAÚJO et al. 2016).

A utilização do H_2O_2 está inclusa nos Processos Oxidativos Avançados (POA's), estes possibilitam oxidar compostos orgânicos complexos facilitando sua degradação. Este princípio de oxidação é baseado na geração de radicais hidroxilas com funções oxidantes, geradas por reações fotocatalíticas (ARAÚJO et al. 2016).

Os POA's podem ser divididos por processos homogêneos e heterogêneos. No primeiro grupo estão às reações fotocatalíticas empregando O_3/UV (ozônio e ultravioleta), $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ (peróxido de hidrogênio e ultravioleta), $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ (ozônio, peróxido de hidrogênio e ultravioleta) e Foto-Fenton um processo que é a geração de radicais hidroxilas a partir da reação de sais de ferro e peróxido de hidrogênio, catalisado por radiação na faixa do ultravioleta visível. O processo de foto-catálise heterogênea emprega $\text{TiO}_2/\text{O}_2/\text{UV}$ (Dióxido de titânio, oxigênio e ultravioleta) no grupo de processos não irradiados estão O_3/HO (ozônio e hidroxila), $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ (ozônio

e peróxido de hidrogênio), Reativo de Fenton e O₃/catalisador (FIOREZE; SANTOS; SHMACHTENBERG, 2013; CUNHA et al. 2007).

Teodoro et al. (2017) estudaram processos oxidativos para avaliar a capacidade de desinfecção da água, utilizando UV, UV/TiO₂, UV/H₂O₂ e UV/TiO₂/H₂O₂. Os processos UV/H₂O₂ e UV/TiO₂/H₂O₂ alcançaram inativação máxima de coliformes totais e para *Enterococcus* obteve inativação total em 40 minutos, o processo UV/TiO₂ também alcançou inativação total em 90 minutos, os resultados foram semelhantes para *Pseudomonas aeruginosa*. Os resultados foram positivos para os três microrganismos, porém nos tratamentos onde foi empregado o peróxido de hidrogênio estes resultados foram obtidos em menor tempo.

Ferreira e Daniel (2005), aplicaram o processo de UV/TiO₂ na descontaminação de efluentes sanitários. No estudo foram analisados os microrganismos *Escherichia coli* e *Clostridium perfringens*. Para *E. coli* 73% das amostras apresentaram resultados satisfatórios, onde as águas apresentaram condições de reuso, as análises de *Clostridium perfringens* apresentaram índice de inativação máxima de 99,17%.

Avaliando UV-TiO₂ com finalidade de inativação de bactérias patogênicas (*Escherichia coli* O157: H7, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella typhimurium*) em uma cultura líquida com diferentes domínios de irradiação ultravioleta (A, B e C) observou-se que em escala laboratorial foi efetivo na desinfecção de uma cultura líquida. Tanto o UVC-TiO₂ quanto o UVC resultaram em uma fase bactericida mais precoce em 60 e 90 s, respectivamente, em cultura líquida. O tratamento prolongado resultou em alterações estruturais no DNA genômico de *Escherichia coli*. Observações prolongadas por 30 e 60 min as bactérias sofreram graves danos celulares visíveis após tratamento com UVC-TiO₂. (Kim et al. 2013).

A tecnologia de radiação catalítica ionizante foi estudada por Skowron et al. (2018), que destaca a importância da redução da contaminação do ar em hospitais e indústrias alimentícias, reduzindo assim o risco de sedimentação de moléculas e contaminação das superfícies e conseqüentemente materiais e alimentos. Na contaminação do ar foi observada a eliminação dos microrganismos *E. coli* e *Candida albicans*. A ação mais eficaz da tecnologia foi registrada em formas vegetativas do que bactérias formadoras de esporos.

Ortega et al. (2007), utilizaram a tecnologia de RCI para observar a redução da contaminação microbiológica em superfícies de aço inox em tempos de 0, 2, 6 e

24 h. Após 24 h foram observadas redução nas contagens de *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Streptococcus* spp., *Pseudomonas aeruginosa*, *Listeria monocytogenes* e *Candida albicans*.

As tecnologias estão cada vez mais voltadas para a aplicação de métodos esterilizadores não tóxicos que contribuem com o ambiente atmosférico e com a preservação da natureza como, por exemplo, o plasma de peróxido de hidrogênio (SANTOS; PACHECO; COLARES, 2003).

A contaminação do produto está relacionada, principalmente, com dois fatores, a contaminação do ar e das superfícies de contato. O ar pode ser contaminado por partículas de pó ou bioaerossóis, que são formados por microrganismos, partículas, materiais voláteis, ou fragmentos de origem biológica suspensos no ar. As superfícies podem ser contaminadas em contato direto onde materiais são veículos de contaminação ou indireta onde as partículas contaminantes são transportadas pelo ar. Os alimentos podem ser contaminados durante processamento, manipulação, armazenamento e preparo o que pode comprometer a segurança dos alimentos (ROSÁRIO, 2013; SALUSTIANO, 2002).

A deterioração das carnes e produtos cárneos está relacionada diretamente com as condições da atmosfera que os envolve e com os tipos de processamento realizados. A adoção de análises ambientais é o método mais utilizado pelas indústrias de alimentos na busca pela melhoria da qualidade microbiológica dos produtos (ANDRADE, 2014).

A aplicação da tecnologia de RCI representa avanços e benefícios para as indústrias na redução da contaminação do ar e superfícies, sua característica não tóxica oferece maior segurança na utilização reduzindo os riscos de contaminação microbiológica e danos ocupacionais (ORTEGA et al. 2007; SKOWRON et al. 2018).

4. MATERIAL E METODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL ONDE FOI APLICADA A IONIZAÇÃO RÁDIO CATALÍTICA

O estudo foi realizado em um abatedouro comercial de aves, localizado no estado do Paraná, que abate em média 340 mil aves por dia, gerando aproximadamente 360 toneladas de produto acabado por turno de produção, das quais 50% são destinadas para o mercado interno e 50% para o mercado externo. O abatedouro possui programas de autocontroles conforme estabelecida pela NORMA INTERNA DIPOA/SDA Nº 01, DE 08 DE MARÇO DE 2017, dentre eles Higiene Industrial e Operacional, Procedimentos Sanitários Operacionais, Programa de Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle – APPCC (BRASIL, 2017). A empresa possui Serviço de Inspeção Federal (SIF) na unidade produtora.

O processo de radiação catalítica ionizante foi conduzido usando o dispositivo PA 150 (EcoQuest), que consiste em uma luz ultravioleta e ligas de titânio atuando como fotocatalisador que agem criando um processo de oxidação avançado pela geração do H_2O_2 (Figura 2).

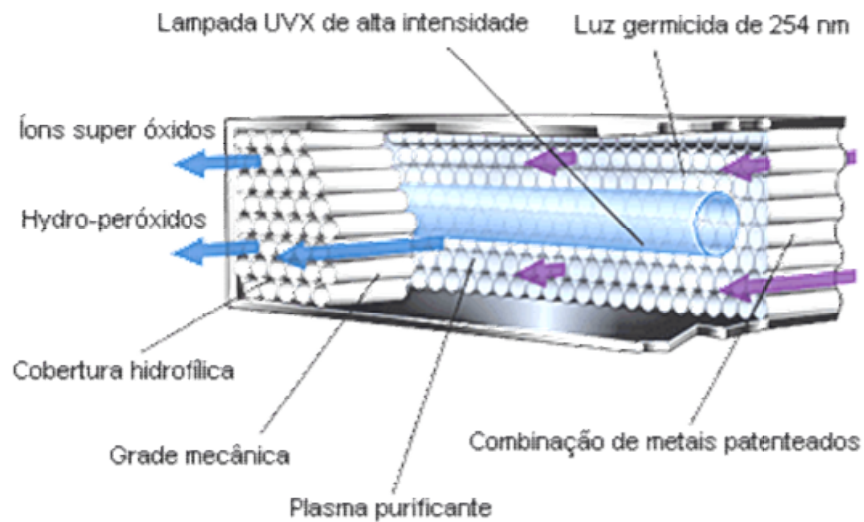


Figura 2 - Dispositivo PA 150 – EcoQuest

Fonte: Empresa Ecoquest (2019).

O experimento foi conduzido em sala de processamento de cortes congelados individualmente (IQF - *Individually Quick Frozen*). Os frangos passam pelo processo de cortes e seguem para a sala de IQF onde são acondicionados em esteiras que alimentam o sistema de congelamento em *giro-freezer* onde são congelados, após o congelamento os cortes são acondicionados em embalagens primárias e enviados para o setor de expedição, onde ficam armazenados até a comercialização. Este processo tem capacidade média de produção diária de 23 toneladas de produto, sendo estes divididos entre os cortes de coxinhas das asas e frango a passarinho, conforme demanda comercial. A sala de produção de IQF (*Individually Quick Frozen*). apresenta temperatura ambiente de 10°C, paredes isopanel (PUR), com uma área total de 22,60 m² (altura: 3,40 m, largura: 3,23 m, comprimento: 7,31 m). O equipamento foi instalado na parede contrária a entrada da sala para permitir maior permanência do peróxido no ambiente (Figura.3 e Figura.4).

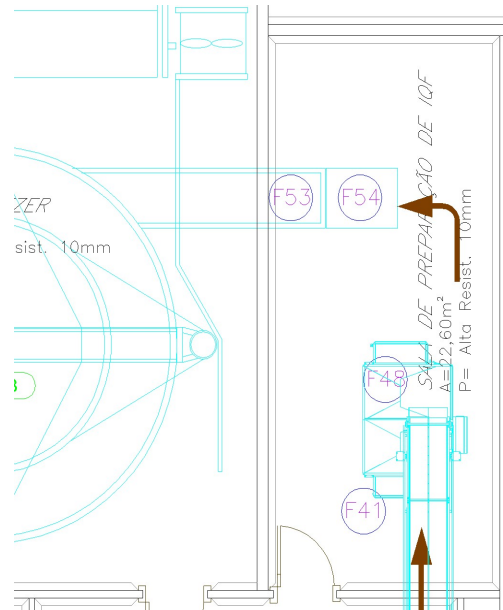


Figura 3–Planta baixa da sala de IQF (*Individually Quick Frozen*)

Fonte: Abatedouro de aves (2019).



Figura 4– Foto da sala de IQF (*Individually Quick Frozen*)

Fonte: Autoria própria (2019).

O modelo experimental adotado foi esquema fatorial triplo (tratamento x semana x tempo (horas de coleta)), com parcela subdividida (amostra). Os tratamentos consistiram em: controle, sem utilização do equipamento e RCI, utilização do equipamento; semanas de coletas para cada tratamento; tempos

distintos de coleta durante o dia (dias aleatórios da semana) e amostragem em duplicata (Tabela 1).

A jornada de trabalho era dividida em três turnos, um que iniciava às 4:00 h e termina às 14:00 h, outro que iniciava às 14:00 h e termina às 00:00 h e o último turno que iniciava às 00:00 h e termina às 4:00 h. A sanitização completa dos ambientes era realizada no terceiro turno de trabalho, durante a madrugada e, nas trocas de turnos, era realizada uma limpeza utilizando água quente. As coletas de amostras foram realizadas nos primeiros e segundos turnos de trabalho do abatedouro, durante estes turnos o equipamento ficou ligado interruptamente.

Tabela 1. Esquema para coleta de amostras de contaminação do ar ambiental e de superfície para avaliação de contagem total de bactérias, *Enterobacteriaceae* e microrganismos mesófilos aeróbios

Tratamento	Semana	Dias por semana	Tempo (horas das coletas)	Amostragem	Total
Controle	1º 2º 3º 4º	3 dias	1º 06:00	Duplicata	96 amostras
			2º 10:00		
			3º 15:00		
			4º 00:00		
RCI	5º 6º 7º 8º 9º 10º 11º 12º	2 dias	1º 06:00	Duplicata	128 amostras
			2º 10:00		
			3º 15:00		
			4º 00:00		

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 2. Esquema para coleta de amostras de cortes de frangos para avaliação de coliformes 45°C e *Salmonella* spp.

Tratamento	Semana	Dias por semana	Tempo (horas das coletas)	Amostragem	Total
Controle	1º 2º 3º 4º	3 dias	1º 15:00	Duplicata	24 amostras
RCI	5º 6º 7º 8º	2 dias	1º 15:00	Duplicata	32 amostras
	9º 10º 11º 12º				

Fonte: Autoria própria (2019).

4.2 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

4.2.1 Avaliação da Contaminação Ambiental

4.2.1.1 Determinação de microrganismos mesófilos aeróbios

Para avaliar o efeito do tratamento sobre a qualidade do ar ambiente foi empregada à técnica de sedimentação em placas de Petri. Nesta técnica duas placas, contendo meio de cultura PCA (*Plate Count Agar*), ficaram expostas por 10 min na sala de processamento em pontos distintos, próximos a porta de entrada da sala, sentido contrario ao da instalação do equipamento. As placas foram expostas nos tempos descritos na Tabela 1 em cada turno de trabalho. Em seguida as placas foram fechadas e incubadas em estufa à 30°C ±1°C por 24 a 72 h e após este período foi realizada a contagem de colônias presentes. O resultado foi expresso de acordo com o número de colônias que cresceram nas placas (ISO 4833, 2013; APHA, 2001).

4.2.1.2 Contagem de *Enterobacteriaceae* e Contagem total de bactérias

Para avaliar a qualidade microbiológica das superfícies dos equipamentos foi utilizada a técnica do *swab*. Para tal, o *swab* esterilizado e umedecido foi friccionado sobre a superfície, com a utilização de um delimitador esterilizado, em movimentos giratórios com pressão constante numa inclinação aproximada de 45° em movimentos realizados da esquerda para a direita e depois da direita para a esquerda compreendendo toda a área do molde delimitador, a haste manuseada do *swab* foi quebrada e este novamente imergido na solução (APHA, 2001).

4.2.2 Avaliação da Contaminação dos Cortes de Frango

As contagens de coliformes 45°C nos cortes de frango (UFC/g) foram realizadas utilizando o método *Petrifilm™ EC* (3M™, Maplewood, Minnesota, USA) de acordo com a AOAC (1991). Alíquotas de 25 g de cada amostra de cortes de frango foram assepticamente pesadas e acondicionadas em sacos plásticos estéreis. Foram adicionados 225 mL de água peptonada 0,1% e em seguida as amostras foram homogeneizadas, com auxílio de um *Stomacher*, por 60 s. Diluições decimais a partir da diluição 10⁻¹ até a diluição de 10⁻⁴ foram preparadas em tubos contendo 9,0 mL de água peptonada 0,1%. Em seguida as Placas *Petrifilm™ MCC* foram inoculadas com alíquotas de 1,0 mL das diferentes diluições. As leituras foram realizadas após incubação das placas, a 44°C ± 1°C por 24h ± 2h. As colônias de coliformes 45°C apresentaram colorações arroxeadas com formação de gás.

A pesquisa de *Salmonella* spp. foi realizada de acordo com o protocolo preconizado pela AOAC (2005). Semelhante ao preparo realizado para análise de coliformes 45°C, alíquotas de 25 g de cada amostra foram assepticamente pesadas e acondicionadas em sacos plásticos estéreis. Foram então adicionados 225 mL de água peptonada tamponada 1% estéril e em seguida, as amostras foram homogeneizadas, com auxílio de um *Stomacher*, por 60 s, após a homogeneização foi pesada 0,1 g de amostra e utilizado o kit de extração, seguindo o protocolo do fabricante e mensurado a absorvância de 260 a 280 nm através do espectrofotômetro *NanoDrop 2000* (*Thermo Scientific, Waltham, Massachusetts, USA*) para checar a integridade do DNA extraído. As amostras de DNA foram diluídas para 50 ng/μL e submetidas à reação em cadeia da polimerase em tempo real (*qPCR*), utilizando o sistema *TaqMan* para a determinação da ausência ou presença de número de cópias de genes de virulência bacteriano.

4.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados das contagens de microrganismo mesófilos aeróbios, *Enterobacteriaceae*, contagem total de bactérias e coliformes 45°C foram analisados usando análise de variância; os resíduos foram testados quanto à normalidade e homocedasticidade e, quando violados, foi utilizada uma transformação adequada dos dados. Os resultados analisados sobre os genes *Salmonella* spp. foi multivariada para estabelecer a correspondência entre os resultados de ausência e presença de genes alvos e determinar a diferença entre tratamentos. Para análise estatística dos resultados de ausência ou presença de foram aplicados um (1) em análises positivas e zero (0) em análises negativas para *Salmonella* spp.

Realizou-se a análise de variância pelo método ANOVA, com nível de significância de 5%. Quando observada diferença significativa entre as amostras ($p < 0.05$), foi realizado o teste de Tukey. O nível de significância adotado foi de 5% e todas as análises foram feitas pelo software SAS.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL

Os resultados das análises microbiológicas de sedimentação do ar ambiente e superfícies, controle e com a utilização do equipamento, estão descritas na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados das análises microbiológicas de ar ambiente e superfícies de manipulação para os tratamentos sem (controle) e com a aplicação de radiação ionizante catalítica (RCI)

Micro./Trat.	Controle	RCI	CV ¹	EPM ²	P-valor
Contagem total de bactérias – UFC.cm⁻²	236,56 ± 68,36a	92,28 ± 97,69b	72,68	7,48	0,03
Enterobacteriaceae – UFC.cm⁻²	68,98 ± 90,50a	6,60 ± 13,11b	156,32	3,48	0,02
Mesófilos aeróbios – UFC/placa/10 minutos	29,56 ± 62,08a	23,25 ± 39,52b	194,21	3,37	0,02

Médias seguidas de letras distintas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

¹Coeficiente de Variação

²Erro padrão da média

Fonte: Autoria própria (2019).

É possível observar redução de 61% no número de colônias de contagem total de bactérias UFC.cm⁻² nas superfícies de manipulação após a aplicação da radiação catalítica ionizante isso representa uma redução de 2,16 unidades logarítmicas. Resultados similares foram relatados por Ortega et al. (2007) que em testes realizados em laboratório utilizando cubos de aço inoxidável inoculados com microrganismos após 24 h de exposição a RCI obtiveram redução nas contagens de *S. aureus* (1,17 log.UFC/cm²), *E. coli* (1,53 log.UFC/cm²), *Bacillus* spp. (2,02 log.UFC/cm²), *Streptococcus* spp. (1,33 log.UFC/cm²), *P. aeruginosa* (1,48 log.UFC/cm²), *L. monocytogenes* (2,35 log.UFC/cm²), *C. albicans* (2,75 log.UFC/cm²) e *S. chartarum* (3,16 log.UFC/cm²). Por sua vez, Skowron et al.

(2018) obtiveram redução de 98,9% das contagens totais de microrganismos após aplicação da radiação catalítica ionizante em aço cromo-níquel.

A redução observada nas contagens de colônias de *Enterobacteriaceae* – UFC.cm⁻² na superfície com a aplicação de radiação em relação a análise controle foi de 1,80 log.UFC/cm⁻² um índice de 90% de redução. Ortega et al. (2007) verificaram redução de 1,53 log.UFC/cm⁻² de *Escherichia coli* em superfície de aço, após a aplicação da radiação catalítica ionizante.

As análises de microrganismos mesófilos aeróbios em UFC/placa/10 min, realizadas a partir da sedimentação do ar em placas de *Petri*, apresentou diferença de aproximadamente 21% entre os tratamentos controle e aplicados de RCI, uma redução de 0,80 log.UFC/placa/10 min, mostrando um resultado positivo quanto à utilização de RCI. Resultados semelhantes foram encontrados por Skowron et al. (2018) que realizaram estudos em laboratório onde observaram eliminação total dos microrganismos do ar para *Escherichia coli* e *Candida albicans*, aplicando radiação catalítica ionizante. Para *S. aureus*, *S. epidermidis* e *E. faecalis* verificou-se uma diminuição de 4 a 5 unidades logarítmicas, onde a taxa de redução foi de 99,9%. Formas vegetativas de bactérias demonstraram índice de redução de 96,6% a 98,9%, a menor taxa de redução observada foi com relação aos esporos de *C. Sporogenes* presentes no ar, com valor de 71,7%, a atuação da radiação no ar ambiente apresentou resultados positivos para todos os microrganismos avaliados.

Os resultados apresentados demonstraram que com a radiação catalítica ionizante se reduziu significativamente as contagens de contagem total de bactérias, *Enterobacteriaceae*, nas superfícies de manipulação de produtos e microrganismos mesófilos aeróbios no ar ambiente.

A aplicação da radiação catalítica ionizante (RCI) mostrou-se benéfica no presente estudo, pois a contaminação ambiental é uma preocupação crescente em plantas frigoríficas, em especial em relação à carga de microrganismos presentes no ar que compõem os bioaerossóis, podendo se espalhar por distâncias consideráveis, sedimentar em diferentes superfícies e causar contaminação (LUES et al. 2007).

A maior redução observada entre as análises e tratamentos foi na contagem de *Enterobacteriaceae*. Isso pode estar relacionado ao fato desses microrganismos apresentarem características Gram-negativas, como as *Pseudomonas* e a *Escherichia coli*, e estas são mais sensíveis à radiação ionizante do que as Gram-positivas, como *Listeria* e *Staphylococcus*, e esporos bacterianos como os do

Clostridium que são mais resistentes que as formas vegetativas de bactérias da mesma espécie (MIYAGUSKU, 2008).

O que diferencia estes dois grandes grupos de bactérias é a estrutura da parede bacteriana responsável por conferir resistência mecânica às diferenças de osmolaridade entre os meios intra e extracelular. A parede celular é composta por peptidoglicano que nas bactérias Gram-positivas apresenta-se de forma espessa e nas Gram-negativas de forma mais fina (MOREIRA; CARVALHO; FROTA, 2015).

Radiações ionizantes são absorvidas pela matéria e emitem energia suficiente para desalojar elétrons dos átomos gerando partículas carregadas eletricamente. Esta carga elétrica causa alterações no DNA das células dos microrganismos o que causa alterações na estrutura celular ou funções fisiológicas, este processo causa danos que ocasiona a desnaturação das proteínas. Algumas células são inativadas e as que conseguem se replicar replicam o DNA alterado e as que não têm capacidade de reparar tais danos morrem. A ação do peróxido de hidrogênio e do radical hidroxila no DNA dos microrganismos causa quebras das ligações químicas e leva à perda da capacidade da célula de se replicar. Uma alteração pequena no DNA de uma célula bacteriana pode destruí-la, ou permitir a destruição de insetos e a inativação de parasitas (LEONEL, 2008; TEZOTTO-ULIANA et al. 2014).

Podem-se realizar estudos para determinar a relação entre a constituição da parede celular das células e a absorção da radiação catalítica ionizante.

Estudos comprovam a ação bactericida na radiação catalítica ionizante baseada na ação do radical hidroxila no DNA das células principalmente na desnaturação das proteínas, entretanto a compreensão exata desta ação sobre as células ainda está sob debate (CHO et al. 2005).

5.2 AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DOS CORTES DE FRANGO

As análises dos produtos finais foram realizadas em cortes de frango a passarinho e coxinhas das asas, produtos processados na sala onde o estudo foi conduzido. Na Tabela 4 é possível observar os resultados obtidos das amostras:

Tabela 4. Resultados das análises realizadas em cortes de frango processados no ambiente sem (controle) e com aplicação de radiação catalítica ionizante (RCI)

Micro./Trat.	Controle	RCI	CV ¹	EPM ²	P-valor
Salmonella spp.	0,21 ± 0,41	0,22 ± 0,42	0,41	0,05	0,92
Coliformes 45°C UFC/g	166,67 ± 44,32	106,88 ± 119,58	169,32	22,63	0,46

¹Coeficiente de Variação

²Erro padrão da média

Nota: Resultados de ausência ou presença de foram aplicados um (1) em análises positivas e zero (0) em análises negativas para *Salmonella* spp.

Fonte: O autor (2019).

Os valores obtidos para *Salmonella* spp. e coliformes 45°C UFC/g não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos, controle e RCI ($p > 0,05$).

Outros autores obtiveram resultados positivos com a aplicação de radiação ionizante na inativação de *Salmonella typhimurium* em carne de frango quando aplicada diretamente ao produto em câmaras específicas para radiação gama (SANTOS, 2003). Oliveira et al. (2009) quando aplicaram radiação gama diretamente aos cortes de frango embalados também conseguiram eliminar *Salmonella* spp. e reduzir a contagem de coliformes 45°C a valores inferiores a 1,0 log NMP/g. Mantilla et al. (2010) analisaram filé de peito de frango em embalagens com atmosfera modificada e radiação gama para a redução de coliformes e obteve resultados positivos apenas após a irradiação dos produtos.

A redução das contagens de microrganismos mesófilos aeróbios também foi observada em carne de frango com aplicação de radiação gama onde houve uma redução de 3 ciclos logarítmicos, em amostras de filé de tilápia do nilo foi necessário aplicar dois tratamentos a radiação e embalagens com atmosfera modificada o que

resultou numa redução de 50% da carga de mesófilos nos produtos (OLIVEIRA et al. 2009; MONTEIRO et al. 2012).

Mantilla et al. (2010) ao aplicarem atmosfera modificada e radiação gama em carne de frango não verificaram desenvolvimento de enterobactérias no produto.

As bactérias da família *Enterobacteriaceae* são muito sensíveis ao processo de radiação, em amostras de peito irradiadas foi possível observar a redução de 5,0 log UFC/g nas contagens dos microrganismos (MIYAGUSKU et al. 2003)

Os resultados obtidos no teste podem estar relacionados com o método de exposição dos produtos à radiação ionizante uma vez que a radiação não é aplicada diretamente ao produto, e quanto ao tempo de exposição, pois segundo Ortega et al. (2007), os melhores resultados foram obtidos após 24 h de exposição a radiação catalítica ionizante.

Kim et al. (2013) aplicaram radiação ultravioleta juntamente com foto catálise do dióxido de titânio a células de *Salmonella typhimurium* e observaram que danos ao DNA só eram causados após 30 minutos de exposição, resultados positivos para redução da carga microbiana foram obtidos a partir de duas horas de exposição para microrganismos inoculados em laboratório (ORTEGA et al. 2007). Com base nos estudos de aplicação de radiação ionizante pode-se concluir que o tempo de exposição é um fator determinante, sobre a ação da radiação ionizante na estrutura celular bacteriana, as superfícies da sala de processamento ficaram expostas a radiação por aproximadamente 16 h por dia durante as 08 semanas em que o teste ocorreu; porém, os produtos permaneciam na sala onde a radiação estava sendo emitida por aproximadamente 3 minutos antes de serem embalados e armazenados.

A superfície de contato para a ação do peróxido de hidrogênio, plasma oxidante da radiação catalítica ionizante, também mostrou diferenças na eficiência de redução dos microrganismos. Análises realizadas em lâminas envernizadas e em cromo-níquel demonstraram redução de 71,2-99,4% e 6,6-98,9%, respectivamente, o mesmo teste utilizando carpete de poliamida apresentou índice de redução de 2,6-90,9% e telhas de rocha moída apresentaram 2,6-90,9%. Superfícies mais porosas como o carpete de poliamida apresentaram menor redução da contaminação microbiológica, o mesmo princípio pode ser aplicado às análises do estudo, a superfície cárnea que apresenta características de textura diferentes apresentou resultado da ação do peróxido inferior ao da superfície de manipulação.

Aplicação de radiação gama e ozônio mostram-se eficientes na redução de microrganismos, porém alguns pontos importantes dos processos devem ser ressaltados. A aplicação de radiação gama apresenta consumo de energia baixo, por outro lado, apresenta alto custo da planta de irradiação, altera o valor nutricional dos alimentos, a irradiação excessiva dos alimentos e a segurança do operador são fatores preocupantes. O ozônio se torna um gás tóxico em certas concentrações e pode promover a rancificação oxidativa, alterando cor e sabor dos alimentos (NOVAES et al. 2012; PINO et al. 2005).

A tecnologia de RCI apresentou redução de contaminação microbiológica em tempos de exposição menores do que com aplicação do ozônio. O equipamento de RCI é de fácil instalação, baixo consumo de energia, não precisa de operação constante e não apresentam produtos nocivos a saúde o que possibilita sua utilização simultânea ao processamento dos alimentos (ORTEGA et al. 2007).

A tecnologia estudada é promissora para obtenção de alimentos mais seguros e estáveis microbiologicamente, porém é importante ressaltar que nenhum método de descontaminação deverá substituir os procedimentos de boas práticas de fabricação nas indústrias alimentícias (PINO et al. 2005).

6. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos pode-se concluir que a radiação catalítica ionizante é eficiente na redução das contagens de colônias de contagem total de bactérias e *Enterobacteriaceae* em superfícies de manipulação, e reduziu em 21% as contagens de microrganismos mesófilos aeróbios UFC/placa/10 min presentes no ar ambiente mostrando-se um bom agente bactericida, eficiente contra bioaerossóis presentes no ar que podem se depositar sobre as superfícies e produtos atuando como fontes de contaminação. Esta ação bactericida, entretanto, não foi observada de forma significativa em cortes de frango para as análises de *Salmonella* spp. e coliformes 45°C, em virtude do tempo de exposição do produto ao peróxido de hidrogênio e composição da matéria.

A redução da contaminação ambiental está relacionada com os níveis de contaminação dos produtos, portanto as tecnologias que ofereçam estes benefícios devem ser testadas aliadas as boas práticas de fabricação.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR ISO 4833**. Método horizontal para enumeração de microrganismos capazes de crescer e formar colônias em um meio sólido após incubação aeróbica a 30 ° C, 2013.

ABPA. **Relatório Anual 2018 ABPA**. São Paulo - SP: [s.n.]. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/setores/avicultura/publicacoes/relatorios-anuais>>. Acesso em: 01/04/2019.

ALCANTARA, M.; MORAIS, I. C. L.; SOUZA, C.M.O.C.C. Principais microrganismos envolvidos na deterioração das características sensoriais de derivados cárneos. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v.6, p. 1-18, 2012.

ANDRADE, M. C. G. Avaliação da qualidade microbiológica de carnes de peito de frangos de corte submetidas a diferentes temperaturas do ambiente de processamento. 2014. 57f. **Dissertação** (Mestrado em Tecnologia e Inspeção de Produtos de Origem Animal) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/SMOC-9ZYHYE>>. Acesso em: 01/04/2019.

ANDRADE, NELIO JOSE de. **Higiene na indústria de alimentos, avaliação e controle da adesão e formação de biofilmes bacterianos**. 22 ed. São Paulo: Varela, 2008.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of the Association of the Analytical Chemists**. 15 ed. Virginia, 1991.

AOAC. *Salmonella* in foods enzyme-linked immune fluorescent assay screening method. **Official Method 996.08. The Official Methods of analysis**. 18 ed. AOAC international, Gaithersburg. MD. 2005.

APHA. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 4. ed. Washington, American Public Health Association, 2001. 1219P.

ARAÚJO, K. S. DE.; ANTONELLI, R.; GAYDECZKA, B.; GRANATO, A. C.; MALPASS, G. R. P. Processos oxidativos avançados: uma revisão de fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais. **Revista Ambiente e Água**, v. 11, n. 2, p. 387- 401, 2016.

BRAGA, C. M. Aplicação de Radiação Ultravioleta na Inativação de Microrganismos Deteriorantes de Alimentos. 2018. **Tese de Doutorado** (Doutorado em Engenharia de alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/193492>>. Acesso em: 01/04/2019.

BRASIL. **Resolução nº 12, de 02 de janeiro de 2001.** Regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. Disponível em <http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/RDC_12_2001.pdf/15ffddf6-3767-4527-bfac-740a0400829b>. Acesso em: 05/10/2017.

BRASIL. Norma interna DIPOA/SDA nº 01, de 08 de março de 2017. Aprovar os modelos de formulários, estabelece as frequências e as amostragens mínimas a serem utilizadas na inspeção e fiscalização, para verificação oficial dos autocontroles implantados pelos estabelecimentos de produtos de origem animal registrados (SIF) ou relacionados (ER) junto ao DIPOA/SDA, bem como o manual de procedimentos. Disponível em <https://alimentusconsultoria.com.br/wp-content/uploads/2017/06/Norma_Interna.pdf>. Acesso em: 28/06/2019.

CHO, M., CHUNG, H., CHOI, W., YOON, J. Different inactivation behaviors of MS-2 phage and *Escherichia coli* in TiO₂ photocatalytic disinfection. **Applied and Environmental Microbiology**, v.71, p.270–275, 2005.

COSTA, L. S.; GARCIA, L. A. F.; BRENE, P. R. A. **Panorama do setor de frango de corte no Brasil e a participação da indústria avícola paranaense no complexo dado seu alto grau de competitividade.** IV Singep. **Anais.**São Paulo - SP: Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade, 2015.

CUNHA, G. M. DE A.; NETO, A. A. E.; MEDEIROS, G. G. D DE M.; SILVA, D. DO N.; MOTA, A. L. N.; CHIAVONE-FILHO, O. **Uso do processo foto-fenton no tratamento de águas produzidas em campos de petróleo.** 4° PDPETRO, Campinas – São Paulo. Disponível em: <<http://www.portalabpg.org.br>>. Acesso em: 01/04/2019.

DUTRA, M. P.; RAMOS, E. M.; AROEIRA, C. N.; RAMOS, A. DE. L. S.; SILVA, M. H. L.; CONTADO, J. L.; PEREIRA, M. T. Radiação gama e nitrito de sódio na composição química e textura de mortadelas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 6, p. 1134-1140, 2014.

FERREIRA, I. V. L.; DANIEL, L. A. Fotocatálise heterogênea com TiO₂ aplicada ao tratamento de esgoto sanitário secundário. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.9, n.4, p.335-342, 2005.

FIGUEIREDO, M.; SANTOS, E. O. dos; SHMACHTENBERG, N. Processos oxidativos avançados: fundamentos e aplicação ambiental. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 18, p. 79-91, 2013.

GRINSHPUN, S.A.; ADHIKARI, A.; HONDA, T.; KIM, K.Y.; TOIVOLA, M.; RAO, K.S.; REPONEN, T. Control of aerosol contaminants in indoor air: combining the particle concentration reduction with microbial inactivation. **Environmental Science & Technology**, v.41, p. 606–612. 2007.

GUERRA, N.; MACIEL, J. F.; ARAÚJO, J.; CAVALHEIRO, J. M. O. Efeito da embalagem com atmosfera modificada associada ao ácido ascórbico na vida útil de filés de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*). **Campinas**, v. 20, e. 2015045, 2017.

HAM, Y. K.; KIM, H. W.; HWANG, K. E.; SONG, D. H.; KIM, Y. J.; CHOI, Y. S.; SONG, B. S.; PARK, J. H.; KIM, C. J. Effects of irradiation source and dose level on quality characteristics of processed meat products. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 130, n. 1, p. 259–264, 2017.

HASHIMOTO, K; IRIE, H; FUJISHIMA, A. TiO₂ Photocatalysis: A Historical Overview and Future Prospects, **Japanese Journal of Applied Physics**, v. 44, p. 8269–8285, 2005.

JAY, JAMES. M. **Microbiologia de alimentos**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005.

KIM, S.; GHAFOR, K.; LEE, J.; FENG, M.; HONG, J.; LEE, D.U.; PARK, J. Bacterial inactivation in water, DNA strand breaking, and membrane damage induced by ultraviolet-assisted titanium dioxide photocatalysis. **Water Research**, v. 47, p. 4403 -4411, 2013.

LEONEL, F. R. Irradiação e qualidade da carne de frango congelada e embalada a vácuo. 2008. 74 f. **Tese** (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/104914>>. Acesso em: 01/04/2019.

LUES, J. F. R.; THERON, M. M.; VENTER, P.; M. H. RASEPHEI, R. *Microbial Composition in Bioaerosols of a High-Throughput Chicken-Slaughtering Facility*. **Poultry Science**, 86:142–149, 2007.

MANTILLA, S. P. S.; SANTOS, E. B.; VITAL, H. DE. C.; MANO, S. B.; FREITAS, M. Q. DE.; FRANCO R. M. Efeito combinado da embalagem em atmosfera modificada e radiação gama na microbiologia e na aceitação sensorial de filés de peito de frango resfriados. **Revista Biotemas**, v. 23, n. 2, p. 149-155, 2010.

MARSHALL, R.T. **Standard methods for the examination of dairy products**. 16^o ed. Washington, DC: American Public Health Association, 546p, 1992.

MIYAGUSKU, L. Influência da radiação ionizante (⁶⁰Co) na manutenção da qualidade físico-química, microbiológica e sensorial de cortes de coxa e filé de peito de frango acondicionado em diferentes sistemas de embalagens. **Tese de Doutorado** (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas 2008. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/255588>>. Acesso em: 01/04/2019.

MIYAGUSKU, L; CHEN, F; LEITÃO, M. F.; F; BAFFA, O. Avaliação microbiológica e sensorial da vida-útil de cortes de peito de frango irradiados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 23, p. 7-16, 2003.

MONTEIRO, M. L. G.; MÁRSICO, E. T.; TEIXEIRA, C. E.; MANO, S. B.; JÚNIOR, C. A. C.; VITAL, . DE C. Validade comercial de filés de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) resfriados embalados em atmosfera modificada e irradiados. **Ciência Rural**, v. 42, n. 4, p. 737-743, 2012.

MOREIRA, J. L. B.; CARVALHO, C. B. M. DE.; FROTA, C.C. **Visualização bacteriana e colorações**. 1. ed. Fortaleza: Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará (UFC), 2015.

MUNTEAN, M. V.; MARIAN, O.; BARBIERU, G. M. C; RANTA, O. DROCAS, I.; TERHES, S. *High pressure processing in food industry – Characteristics and Applications*. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, p. 377-383, 2016.

NOVAES, S. F. DE.; CONTE-JUNIOR, C.A.; FRANCO, R. M.; MANO, S. B. Influência das novas tecnologias de conservação sobre os alimentos de origem animal. **Revista científica eletrônica de medicina veterinária**, n. 19, 2012.

OLIVEIRA, A. L.; PEREIRA, M. T.; BUENO, P. H. S.; OLIVEIRA, R. B. P.; PINTO, F. C.; CORREIA, R. F.; MACHADO, M. M. Qualidade microbiológica da carne de frango irradiada em embalagem convencional e a vácuo. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.61, n.5, p.1210-1217, 2009.

OLIVEIRA, A. V. B.; SILVA, R. A.; ARAÚJO, A. S; BRANDÃO, P. A; SILVA, F. B. Padrões microbiológicos da carne de frango de corte – referencial teórico. **Revista Verde**. v.6, p. 01-16, 2011.

ORTEGA, M. T; FRANKEN, L.J; HATESOHL, P.R; MARSDEN, J. L. Efficacy of Ecoquest radiant catalytic ionization cell and breeze at ozone generator at reducing microbial populations on stainless steel surfaces. **Journal of Rapid Methods & Automation in Microbiology**, v.15, p.359-368, 2007.

PINO, E. S.; GIOVEDI, C. Radiação Ionizante e suas Aplicações na Indústria. **Revista UNILUS Ensino e Pesquisa**, v. 2, n. 2, p. 47-51, 2005.

PINTO, S. M.; MOREIRA, I. S. Formas de uso da radiação para conservação dos alimentos: uma abordagem bibliográfica. **Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural Management**, v. 14., n. 2, P. 131-137, 2018.

ROSÁRIO, E. DE. X. Desenvolvimento de um plano de controlo microbiológico da linha de doces. 2013. **Dissertação** (Mestrado em sistemas de prevenção e controlo alimentar) - Instituto Politécnico de Santarém, Santarém 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ipsantarem.pt>>. Acesso em: 01/04/2019.

SALUSTIANO, V. C. Avaliação da microbiota do ar de ambientes de processamento em uma indústria de laticínios e seu controle por agentes químicos. **Dissertação** (*Magister Scientiae* em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais 2002. Disponível em: <<http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/11508/texto%20completo.PDF?sequence=1>>. Acesso em: 01/04/2019.

SANTOS, M. L. DE O. DOS.; PACHECO, E. R.; COLARES, A. C. A. **Esterilização por plasma de peróxido de hidrogênio: relato de experiência**. **Revista Baiana de Enfermagem, Salvador**. v. 18, n. 1/2, p. 125-138, 2003.

SILVA, A. S. Estudo das formulações e metodologias analíticas de saneantes domissanitários com ação antimicrobiana, de uso hospitalar, com registro em 2004 e 2005. 2008. **Dissertação** (Mestrado Profissional Programa de Pós-Graduação em Vigilância Sanitária Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde) Fundação Oswaldo Cruz – Rio de Janeiro. Disponível em: <www.icb.usp.br>. Acesso em: 01/04/2019.

SILVA, R. C.; SILVA, R. M. DA.; AQUINO, K. A. S. A Interação da Radiação Gama com a Matéria no Processo de Esterilização. **Revista Virtual Química**, v. 6, n. 6, p. 1624-1641, 2014.

SKOWRON, K; GRUDLEWSKA, K; KWIECINSKA-PIROG, J; GRYN, G; SRUTEK, M; GOSPODAREK-KOMKOWSKA, E. Efficacy of radiant catalytic ionization to reduce bacterial populations in air and on different surfaces. **Science of the Total Environment**, v. 610–611, p.111–120, 2018.

SOUSA, M. C.; TEIXEIRA, L. J. Q; ROCHA, C. T.; FERREIRA, G. A. M; LIMA FILHO, T. Emprego do frio na conservação de alimentos. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, n.16, p.1027-1046, 2013.

SOUZA, G.C.; GOLSALVES, H. R. O; GOLSALVES, H. E. O; COELHO, J. L. S. Característica microbiológica da carne de frango. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 10, p. 12-17, 2014.

TEODORO, A; BONCZ, M. A; PAULO, P. L; JUNIOR, A. M. Desinfecção de água cinza por fotocatalise heterogênea. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.22, p.1017-1026, 2017.

TEZOTTO-ULIANA, J. V.; SILVA, P. P. M.; KLUGE, R. A.; SPOTO, M. H. F. Radiação Gama em Produtos de Origem Vegetal. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 1, p. 267-277, 2014.