POLIANA DE PAULA BRITO

**Avaliação de Características de Qualidade e Propriedades
Funcionais da Carne Mecanicamente Separada de Frango
Tratada com Diferentes Taxas de Dose de Radiação
Ionizante e Uso de Antioxidantes**

Tese apresentada ao Programa de Pós-
Graduação Interunidades em Biotecnologia
USP/Instituto Butantan/IPT, para obtenção do
Título de Doutor em Biotecnologia.

São Paulo
2012

POLIANA DE PAULA BRITO

**Avaliação de Características de Qualidade e Propriedades
Funcionais da Carne Mecanicamente Separada de Frango
Tratada com Diferentes Taxas de Dose de Radiação
Ionizante e Uso de Antioxidantes**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação Interunidades em Biotecnologia USP/Instituto Butantan/IPT, para obtenção do Título de Doutor em Biotecnologia.

Área de concentração: Biotecnologia

Orientadora: Dra. Heliana de Azevedo

Versão original

São Paulo
2012

DADOS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
Serviço de Biblioteca e Informação Biomédica do
Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo

© reprodução total

Brito, Poliana de Paula.

Avaliação de características de qualidade e propriedades funcionais da carne mecanicamente separada de frango tratada com diferentes taxas de dose de radiação ionizante e uso de antioxidantes / Poliana de Paula Brito. -- São Paulo, 2012.

Orientador: Profa. Dra. Heliana de Azevedo.

Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. Instituto de Ciências Biomédicas. Programa de Pós-Graduação Interunidades em Biotecnologia USP/ IPT/ Instituto Butantan. Área de concentração: Biotecnologia. Linha de pesquisa: Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Versão do título para o inglês: Evaluation of quality characteristics and functional properties of mechanically deboned chicken meat treated with different dose of rates of ionizing radiation and use of antioxidants.

1. Irradiação de alimentos 2. Taxas de dose 3. Antioxidantes 4. Carne mecanicamente separada de frango 5. Propriedades funcionais
I. Azevedo, Profa. Dra. Heliana de II. Universidade de São Paulo. Instituto de Ciências Biomédicas. Programa de Pós-Graduação Interunidades em Biotecnologia USP/ IPT/ Instituto Butantan III. Título.

ICB/SBIB080/2012

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Programa de Pós-Graduação Interunidades em Biotecnologia
Universidade de São Paulo, Instituto Butantan, Instituto de Pesquisas Tecnológicas

Candidato(a): Poliana de Paula Brito.

Título da Tese: Avaliação de características de qualidade e propriedades funcionais da carne mecanicamente separada de frango tratada com diferentes taxas de dose de radiação ionizante e uso de antioxidantes.

Orientador(a): Profa. Dra. Heliana de Azevedo.

A Comissão Julgadora dos trabalhos de Defesa da Tese de Doutorado, em sessão pública realizada a/...../....., considerou

() **Aprovado(a)**

() **Reprovado(a)**

Examinador(a): Assinatura:
Nome:
Instituição:

Examinador(a): Assinatura:
Nome:
Instituição:

Examinador(a): Assinatura:
Nome:
Instituição:

Examinador(a): Assinatura:
Nome:
Instituição:

Presidente: Assinatura:
Nome:
Instituição:

Dedico esta conquista à pessoa mais especial,
à quem me deu a vida, me ensinou a andar,
me deu a mão quando eu cai
e sempre, sempre esteve ao meu lado.
Esta vitória é nossa Mãezinha querida, Neuza Maria!

AGRADECIMENTOS

- A Deus por sempre iluminar a minha vida e me guiar pelo melhor caminho.
- À Dra. Heliana de Azevedo, pelo apoio, por todos os ensinamentos, por acreditar no meu potencial.
- À minha família, meu pai Benedito, minha Mãe Neuza, meus irmãos Edgard e Carlos Eduardo pela força nos momentos mais difíceis.
- Ao meu namorado Raphael, pelo incentivo, apoio, companheirismo, amizade, amor e compreensão.
- À minha amiga e companheira Duda, sempre ao meu lado, um amor incondicional.
- À minha segunda mãe Rosária, que me cuidou, me deu apoio, carinho, amor e amizade numa fase muito importante da realização deste projeto.
- A todos os meus amigos de São Paulo, que abriram as portas das suas casas e me receberam com tanto carinho: Josué Lolli, Fernanda Melo, Daniela Guglielmi, Mychelle Munyck Linhares Rosa e Bianca Geraldo
- À minha irmã de coração Karina Medeiros Roquim que me apoiou neste projeto, me acolheu com tanto amor e fez sempre o possível e impossível para me receber tão bem.
- À Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) - Laboratório de Poços de Caldas (LAPOC) pelo apoio financeiro e disponibilização de toda estrutura.

- Aos motoristas da CNEN Alcir, Jorge e Celso pela atenção e disposição em ajudar.
- A todo pessoal da radioecologia: Leilane Ronqui, Carla Rolim, Suzelei Rodger, Walter Pomarico, Pedro Henrique, Thiago Augusto, Cláudio Vitor Roque, Armando Brusqui e Eva Mariano pelo companheirismo e trabalho em Equipe.
- Ao Rodrigo Paiva Barreto pela amizade e disposição em ajudar.
- Às minhas amigas Cecília Boller e Déborah Santos pelos momentos únicos de amizade e descontração.
- À todos mis amigos de España, especialmente de LHICA por la amistad y todos los buens momentos vividos.
- Ao Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL) pela infraestrutura disponibilizada.
- À Dra. Luciana Miyagusku pela atenção e auxílio na realização das análises.
- Aos Funcionários do ITAL Marcelo e Dra. Márcia pela disposição em ajudar.
- Aos Funcionários do LAFISE- ITAL que aceitaram participar e colaborar com as análises sensoriais.
- À Pesquisadora Dra. Kátia Cipolli por ajudar nas análises sensoriais.

- Ao Pesquisador Dr. Paulo por disponibilizar o laboratório e ajudar nas análises de cor objetiva.
- Ao Instituto de Pesquisas Energéticas de São Paulo (IPEN) por disponibilizar a estrutura para as irradiações das amostras.
- Aos Funcionários do IPEN, Carlos, Beth, Paulinho, Cyro, pelas irradiações das amostras.
- À MSc. Célia Napolitano e Salomão pelas dosimetrias realizadas.
- Ao Dr. Gerson Mourão, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - (ESALQ- USP) pelas análises estatísticas.
- Ao Marcos da secretaria de pós-graduação da Biotecnologia pela atenção.
- Aos funcionários da biblioteca do ICB pelo bom atendimento e orientação.
- À Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais - FAPEMIG - pelos recursos financeiros concedidos.
- À União Européia pela bolsa de doutorado sanduiche concedida para o desenvolvimento de pesquisas na Universidade de Santiago de Compostela, Espanha.
- À todas as pessoas que ajudaram, diretamente ou indiretamente:

Muito Obrigada!

*"E ainda que tivesse o dom da profecia,
e conhecesse todos os mistérios e toda a ciência,
e ainda que tivesse toda a fé, de maneira tal que transportasse os montes,
e não tivesse Amor, nada seria."*

Corintios, 13

Sem amor eu nada seria....

RESUMO

BRITO, P. P. **Efeito da radiação ionizante sobre a oxidação lipídica e as características sensoriais, funcionais e microbiológicas da carne mecanicamente separada de frango.** 2012. 137 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

A Carne Mecanicamente separada de Frango (CMSF) é utilizada em produtos cárneos tradicionais, em maior proporção naqueles emulsionados, em substituição a matérias primas cárnea de custo mais elevado. A matéria-prima da CMSF pode apresentar elevada carga microbiana, como consequência da contaminação durante o processamento ou falhas durante o processo de evisceração. O processo de irradiação é aceito como uma das mais efetivas tecnologias, quando comparada às técnicas convencionais de preservação, por reduzir a contaminação de microrganismos patogênicos e deterioradores. No entanto, há pouca informação disponível sobre o uso e os efeitos de diferentes taxas de dose de radiação ionizante no processamento. A irradiação provoca alterações químicas no alimento, uma das principais causas da deterioração da qualidade de produtos cárneos crus ou cozidos, durante o armazenamento refrigerado ou congelado. O objetivo deste estudo foi de avaliar os efeitos de diferentes taxas de dose de radiação ionizante sobre a produção de Substâncias Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico (TBARS), a cor, as características microbiológicas e sensoriais da carne mecanicamente separada de frango adicionada ou não de antioxidantes, ao longo do armazenamento refrigerado, bem como a avaliação das propriedades funcionais. Os resultados demonstraram que dentre as taxas de dose testadas com a utilização de fonte de cobalto-60, a taxa de dose de $4,04 \text{ kGy.h}^{-1}$ foi considerada a melhor para o processamento de CMSF. Além disso, o uso da associação de antioxidantes alecrim e α -tocoferol foram capazes de diminuir a oxidação lipídica gerada pela irradiação das amostras de CMSF nas fontes de cobalto-60 e acelerador de elétrons, mostraram um efeito sinérgico ao processamento com radiação ionizante na redução da contagem de bactérias psicrófilas, contribuíram para uma melhor qualidade sensorial. O uso da irradiação no processamento da CMSF não causou prejuízo nas propriedades funcionais estudadas.

Palavras-chave: Irradiação de alimentos. Taxas de dose. Antioxidantes. Carne mecanicamente separada de frango. Propriedades funcionais.

ABSTRACT

BRITO, P. P. **Evaluation of quality characteristics and functional properties of mechanically deboned Chicken meats treated with different dose rates of ionizing radiation and use of antioxidants.** 2012. 137 p. Ph. D. thesis (Biotechnology) - Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

The Mechanically Deboned chicken meat (MDCM) is used in traditional meat products, in greater proportion in those emulsified, replacing meat raw materials more expensive. The raw material can have high MDCM the microbial load, as a result of contamination during processing or failure during the evisceration. The irradiation process is accepted as one of the most effective technologies when compared to conventional techniques of preservation, to reduce contamination of pathogens and spoilage. However, little information is available about the use and effects of different dose rates of ionizing radiation processing. Irradiation causes chemical changes in food, a major cause of deterioration of quality of raw or cooked meat products during refrigerated storage, frozen. The objective of this study was to evaluate the effects of different dose rates of ionizing radiation on the production of Thiobarbituric Acid Reactive Substances (TBARS), color, microbiological and sensory characteristics of mechanically deboned chicken added or without added antioxidants, during the cold storage and evaluation of functional properties. The results showed that among the tested dose rates using cobalt-60 source, dose rate of 4.04 kGy.h^{-1} was the best for processing MDCM. Furthermore, the use of the combination of rosemary antioxidant and α -tocopherol were able to reduce lipid oxidation generated by irradiation of the samples, showed a synergistic effect to the processing with ionizing radiation in reduction of psychrotrophic bacteria count and contributed to a better sensory quality. The use of radiation in the processing FDMI did not adversely affect the functional properties studied.

Keywords: Irradiation. Dose rates. Antioxidants. Mechanically deboned meat. Functional properties.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Máquina para produção de Carne Mecanicamente separada de.....	25
Figura 2 - Efeitos químicos do processo de irradiação	27
Figura 3 - Desenho básico de um acelerador de elétrons	30
Quadro 1 - Valores D10 para microrganismos patogênicos e deterioradores	38
Figura 4 - Planejamento experimental da irradiação de Carne Mecanicamente Separada de Frango com diferentes taxas de dose.....	49
Figura 5 - Planejamento Experimental das formulações, irradiações e análises realizadas na Carne Mecanicamente Separada de Frango.	55
Figura 6 - Sequência de preparação das amostras.....	57
Figura 7 - Irradiador Multipropósito de Cobalto-60 – IPEN – SP	58
Figura 8 - Acelerador de Elétrons – IPEN – SP	58
Figura 9 - Valores médios de TBARS em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado (2 ± 1 °C).	65
Figura 10 - Valores médios para o atributo sensorial odor de irradiado e odor de oxidado em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado (2 ± 1 °C).....	69
Figura 11 - Valores médios para o atributo sensorial cor rósea e cor marrom em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado (2 ± 1 °C).	70
Figura 12 - Valores médios de TBARS em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado.	76
Figura 13 - Valores médios de bactérias psicrotróficas em amostras de CMSF, adicionadas de antioxidantes 1 ou 2 sem irradiar, ao longo do armazenamento refrigerado.....	80
Figura 14 - Valores médios de bactérias psicrotróficas em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 1	87
Figura 15 - Valores médios de bactérias psicrotróficas em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 2	89

Figura 16 - Valores médios para o atributo sensorial cor rósea em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 1.	93
Figura 17 - Valores médios para o atributo sensorial cor rósea em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 2.	94
Figura 18 - Valores médios para o atributo sensorial odor de irradiado em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 1.	97
Figura 19 - Valores médios para o atributo sensorial odor de irradiado em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 2.	98
Figura 20 - Valores médios para o atributo sensorial odor de Oxidado em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 1.	99
Figura 21 - Valores médios para o atributo sensorial odor de oxidado em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 1.	100
Figura 22 - Valores médios para o atributo sensorial odor estranho em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerad, adicionadas ou não de antioxidante 1.	101
Figura 23 - Valores médios para o atributo sensorial odor estranho em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 2.	103
Figura 24 - Valores médios para luminosidade (L^*) em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 1.	105
Figura 25 - Valores médios para luminosidade (L^*) em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 2.	107
Figura 26 - Valores médios para intensidade de vermelho/verde (a^*) em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 1.	108

Figura 27 - Valores médios para intensidade de vermelho/verde (a^*) em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 2.	109
Figura 28 - Valores médios para intensidade de amarelo/azul (b^*) em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 1.	111
Figura 29 - Valores médios para intensidade de amarelo/azul (b^*) em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 2.	112
Figura 30 - Valores de pH para amostras de CMSF, irradiadas ou não, , ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 1.....	115
Figura 31 - Valores de pH para amostras de CMSF, irradiadas ou não, , ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 2.	116
Figura 32 - Valores médios em grama de extração de proteína miofibrilar em amostras de CMSF irradiadas ou não, adicionadas ou não de antioxidantes.....	117
Figura 33 - Valores médios de porcentagem de solubilidade protéica em amostras de CMSF.	120
Figura 34 - Valores de índice de atividade de emulsão das proteínas miofibrilares extraídas de amostras de CMSF.	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores médios de bactérias psicrotróficas em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado (2 ± 1 °C).....	67
Tabela 2 - Resultados dos valores médios de Luminosidade (L^*), intensidade de vermelho (a^*) e intensidade de amarelo (b^*) obtidos em amostras de CMSF não irradiadas, irradiadas com taxa de dose de $4,04 \text{ kGy.h}^{-1}$ e taxa de dose de $0,32 \text{ kGy.h}^{-1}$, ao longo do armazenamento refrigerado.	72
Tabela 3 - Valores médios de TBARS (mg Mal.kg^{-1} CMSF $\pm$ erro padrão) em amostras de CMSF, irradiadas ou não, adicionadas ou não de antioxidantes, ao longo do armazenamento refrigerado (2 ± 1 °C).	78
Tabela 4 - Valores médios de bactérias psicrotróficas $\log (\text{UFC}).\text{g}^{-1} \pm$ erro padrão, em amostras de CMSF, irradiadas ou não, adicionadas ou não de antioxidantes, ao longo do armazenamento refrigerado (2 ± 1 °C).	83

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	22
2.1	Produção de Carne de Aves	22
2.2	Carne Mecanicamente Separada de Frango	23
2.2.1	Histórico e Formas de Obtenção	24
2.2.2	Características Nutricionais	25
2.3	Irradiação de Alimentos	26
2.4	Características de Qualidade	33
2.4.1	Oxidação Lipídica	33
2.4.2	Características Microbiológicas	36
2.4.3	Características Sensoriais	39
2.4.3.1	Odor	39
2.4.3.2	Cor.....	40
2.4.4	Propriedades Funcionais	41
2.5	Antioxidantes	43
3	OBJETIVO GERAL.....	47
3.1	Objetivos específicos.....	47
4	MATERIAIS E MÉTODOS	48
4.1	Materiais e Métodos – Parte I	48
4.1.1	Delineamento Experimental	48
4.1.2	Irradiação	50
4.1.3	Composição Centesimal.....	50
4.1.4	Análise de TBARS.....	50
4.1.5	Análise Microbiológica	50
4.1.6	Análise Sensorial.....	51
4.1.7	Análise de Cor	52
4.1.8	Análise Estatística	53
4.2	MATERIAIS E MÉTODOS – Parte II	54
4.2.1	Delineamento Experimental	54
4.2.2	Preparação das Amostras	57
4.2.3	Irradiação	57

4.2.4	Composição Centesimal.....	59
4.2.5	Análise de TBARS.....	59
4.2.6	Bactérias Psicrotróficas	59
4.2.7	Análise Sensorial.....	59
4.2.8	Análise de Cor	61
4.2.9	Propriedades Funcionais	61
4.2.9.1	Determinação do pH.....	61
4.2.9.2	Extração de Proteínas Miofibrilares.....	61
4.2.9.3	Determinação de Porcentagem de Solubilidade Protéica	62
4.2.9.4	Índice de Atividade de Emulsificação (EAI).....	63
4.2.10	Análise Estatística	63
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
5.1	Resultados e discussão – Parte I.....	64
5.1.1	Composição Centesimal.....	64
5.1.2	Análise de TBARS.....	64
5.1.3	Análise Microbiológica.....	66
5.1.4	Análise Sensorial.....	67
5.1.5	Análise de Cor	70
5.2	Resultados e Discussão – Parte II	73
5.2.1	Composição Centesimal.....	73
5.2.2	Análise de TBARS.....	73
5.2.3	Análise Microbiológica.....	79
5.2.4	Análise Sensorial.....	90
5.2.4.1	Cor.....	90
5.2.4.2	Odor	95
5.2.5	Análise de Cor Objetiva.....	104
5.2.6	Análise das Propriedades Funcionais	113
5.2.6.1	pH.....	113
5.2.6.2	Extração de Proteína Miofibrilar	117
5.2.6.3	Solubilidade Proteica.....	118
5.2.6.4	Índice de Atividade de Emulsão	121
6	CONCLUSÕES	124
7	SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.....	125
	REFERENCIAS.....	126

1 INTRODUÇÃO

A preferência dos consumidores por cortes de frangos ao invés de frangos inteiros, e posteriormente a demanda por filés e produtos de conveniência, trouxe a necessidade de encontrar meios para aproveitar as enormes quantidades de dorsos, pescoços e ossos resultantes dos processos de desossa. Com isso, as carnes mecanicamente separadas de frango (CMSF) estão cada vez mais disponíveis, e conseqüentemente, são mais utilizadas na fabricação de processados, como salsichas e mortadelas. (TRINDADE et al., 2008).

A matéria-prima da CMSF pode apresentar elevada carga microbiana, como consequência da contaminação durante o processamento. A grande área de superfície devido às pequenas partículas, a liberação de fluidos celulares ricos em nutrientes, devido à maceração do tecido e ao calor gerado durante a desossa mecânica, propiciam o desenvolvimento de bactérias (KUMAR et al., 1986). Além disso, durante o processo de evisceração podem ocorrer rupturas do trato intestinal com extravasamento de conteúdo gastrointestinal, ocasionando a contaminação da carcaça (SAMS, 2001).

A irradiação é aceita como uma das mais efetivas tecnologias, quando comparada às técnicas convencionais de preservação, por reduzir a contaminação de microrganismos patogênicos e deterioradores. Além disso, a irradiação diminui as perdas de produtos causados pela infestação de insetos e a redução do uso de resíduos químicos nocivos ao meio ambiente (STEFANOVA; VASILEV; SPASSOV, 2010). Sendo assim, a radiação ionizante pode ser efetiva num programa de análises e pontos críticos de controle, para destruir patógenos entéricos (MOLINS; MOTARJEMI; KÄFERSTEIN, 2001) e deterioradores associados a produtos aviários, aumentando a segurança ao consumidor e a vida útil do produto.

Muitos pesquisadores têm verificado que a radiação ionizante em baixa dose, ou seja, menor que 10 kGy, é suficiente para matar a maioria dos microrganismos em carne de frango (GOMES; SILVA, 2006; JAVANMARD et al., 2006; MIYAGUSKU; LEITÃO; BAFFA, 2003; THAYER et al., 1995). Gomes e Silva (2006) concluíram em seu estudo que, a dose de 3,0 kGy foi considerada a melhor para a irradiação de CMSF, pois esta dose foi compatível para a diminuição de

microrganismos e apresentou menor efeito negativo nos atributos sensoriais de odor, quando comparada à dose de 4,0 kGy.

Vários estudos têm tentado estabelecer a melhor dose de radiação ionizante para diminuir a carga microbiana dos alimentos, sem contudo alterar significativamente suas características sensoriais (GOMES; SILVA, 2006; JAVANMARD et al., 2006; MIYAGUSKU; LEITÃO; BAFFA, 2003; THAYER et al., 1995). No entanto, há pouca informação disponível sobre o uso e os efeitos de diferentes taxas de dose de radiação ionizante no processamento industrial (DIEHL, 1995).

Assim como outros tipos de processamento, a irradiação provoca alterações químicas no alimento, incluindo a produção de compostos voláteis e de espécies reativas de oxigênio (ROS). Os ROS são catalisadores da oxidação lipídica, uma das principais causas da deterioração da qualidade de produtos cárneos crus ou cozidos, durante o armazenamento refrigerado ou congelado (SHAHIDI; HONG, 1997).

A produção de compostos voláteis e de ROS geram alterações sensoriais aos produtos cárneos, tais como aceleração do processo de oxidação da mioglobina, especialmente do ferro, que acaba ocasionando alteração na cor da CMSF refrigerada (BREWER, 2004) e a produção de odores desagradáveis (BREWER, 2009a). As interações entre lipídios oxidados e outros constituintes musculares com proteínas alteram as propriedades funcionais, afetando negativamente a qualidade do produto final (POLLONIO, 1994).

As propriedades funcionais se referem a qualquer propriedade físico-química ou química que afeta o processamento ou o produto final e, sistemas de alimentos. Tais propriedades refletem a completa interação entre a composição, estrutura, conformação e propriedades físico-químicas das proteínas; assim como sua interação com os outros componentes do alimento, tais como lipídios, proteínas, carboidratos e sais (FARFAN, 1985).

Interações entre lipídios oxidados e outros constituintes musculares com proteínas alteram as propriedades funcionais (POLLONIO, 1994) sendo portanto, importante estudar possíveis alterações causadas pelo processo de irradiação nestas propriedades, pois poderão influenciar a qualidade de produto formulado com CMSF irradiada.

Uma vez que a oxidação lipídica constitui-se um dos fatores limitantes da qualidade da CMSF, bem como carnes em geral, muitos estudos têm sido conduzidos com o objetivo de prevenir ou ao menos minimizar os efeitos da oxidação sobre a cor, flavour e funcionalidade das proteínas musculares (POLLONIO, 1994).

É possível que os antioxidantes possam prevenir a queda de qualidade induzida pela irradiação através de mecanismos de prevenção da oxidação lipídica (DU; AHN, 2002; RABABAH et al., 2006).

Os Eritorbatos são agentes redutores que atuam em produtos cárneos, sequestrando o oxigênio, mudando o potencial redox do sistema e/ou reduzindo as oxidações indesejáveis dos produtos, minimizando a descoloração durante armazenamento (TELLEFSON; BOWERS, 1981; TOMPKIN; CHRISTIANSEN; SHAPARIS, 1978). Os Fosfatos têm sido utilizados na indústria de carnes principalmente para melhorar a capacidade de retenção de água e outras características de textura (SOFOS, 1986). O estudo realizado por Pollonio (2004) avaliou o efeito da adição de polifosfatos, nitrito e ascorbato de sódio em carne mecanicamente separada de frango, durante armazenamento congelado e sua influência sobre as propriedades funcionais. Os resultados mostraram que a carne mecanicamente separada de frango, com e sem pele, adicionada da mistura de polifosfatos, nitrito e ascorbato foi consideravelmente mais estável à oxidação lipídica, indicando expressiva ação antioxidante. Além disso, a ação destes três antioxidantes foi favorável, evitando a desnaturação protéica, indicada pelos valores de resultados obtidos das propriedades funcionais.

Diversos estudos têm sido direcionados no sentido de encontrar produtos naturais com atividade antioxidante, os quais poderão substituir os sintéticos ou fazer associações entre eles, com o intuito de diminuir sua quantidade nos alimentos (OVER et al., 2010; RABABAH et al., 2006; SOARES, 2002; TRINDADE; MANCINI-FILHO; VILLAVICENCIO, 2009, 2010).

O alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) e a Vitamina E (α -tocoferol) têm demonstrado um ótimo potencial antioxidante em diferentes estudos que visam a aplicação destes em diversos produtos que são susceptíveis à oxidação, tais como carnes bovina, de peru, de suíno e de frangos (ISMAIL et al., 2009a, b; KANATT et

al., 1998; NAM et al., 2007; TRINDADE; MANCINI-FILHO; VILLAVICENCIO, 2009, 2010).

Estudos que determinem os efeitos das taxas de dose de radiação sobre as características sensoriais e qualidade de CMSF poderiam fornecer à indústria de alimentos diferentes opções de processamento utilizando radiação ionizante.

Além disso, não têm sido registrado na literatura estudos que abordem a comparação do uso de fontes de radiação gama e acelerador de elétrons com diferentes taxas de dose e antioxidantes, sobre as características microbiológicas, sensoriais, funcionais e oxidação lipídica de produtos cárneos cominuídos.

Neste contexto, o presente estudo foi realizado em duas partes. Na 1 parte foi avaliado o efeito de diferentes taxas de dose sobre bactérias psicrotróficas, substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico e características sensoriais da carne mecanicamente separada de frango (*Effect of the Gama Radiation Dose Rate on Psychrotrophic Bacteria, Thiobarbituric Acid Reactive Substances, and Sensory Characteristics of Mechanically Deboned Chicken Meat*). Os resultados obtidos nesta primeira etapa do estudo foram publicados na revista: **Journal of Food Science**, v. 76 (2), p. S133-S138. 2011. A segunda parte do trabalho foi desenvolvida com a finalidade de avaliar os efeitos do processamento com diferentes fontes de radiação ionizante (fonte de Cobalto-60 e acelerador de elétrons) sobre a oxidação lipídica (TBARS), bactérias psicrotróficas, propriedades funcionais e características sensoriais da carne mecanicamente separada de frango adicionada ou não de antioxidantes, ao longo do armazenamento refrigerado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Produção de Carne de Aves

A avicultura Brasileira é hoje um destaque no setor econômico do País e ocupa também uma posição de destaque no cenário mundial de produtos aviários, ficando atrás apenas da China e dos Estados Unidos da América (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTOS E EXPORTADORES DE FRANGO, 2010).

De acordo com os dados do estudo “Brasil- projeções do agronegócio – 2010/2011 a 2020/2021” da Assessoria de Gestão Estratégica (AGE) do Ministério da Agricultura, nestes primeiros dez anos a produção de carne de frangos tende a se expandir a uma média de 2,6% ao ano, índices superiores aos previstos para as carnes bovinas e suínas, cujas expansões devem girar em torno de 2,2% e 1,9% ao ano, respectivamente (ASSOCIAÇÃO DOS AVICULTORES DE MINAS GERAIS, 2011).

Pelas indicações do USDA, em 2011 a produção de carne de frango dos EUA deve situar-se nos 16,9 milhões de toneladas, volume que irá representar aumento de pouco mais de 20% sobre 2001. Já a produção brasileira tende a ficar nos 12,9 milhões de toneladas, volume que, se confirmado, significará aumento de cerca de 97% (ou seja, quase o dobro) sobre 2001. Considerando o incremento médio anual dos dois países entre 2001 e 2011 - 1,9% ao ano nos EUA; 7% ao ano no Brasil – por volta de 2017 a produção brasileira estaria superando a norte-americana e, quem sabe, tornando-se a primeira do mundo (AVEWORLD, 2011).

A preferência dos consumidores por cortes de frangos ao invés de frangos inteiros, e posteriormente a demanda por filés e produtos de conveniência, trouxe a necessidade de encontrar meios para aproveitar as enormes quantidades de dorsos, pescoços e ossos resultantes dos processos de desossa. Com isso, as carnes mecanicamente separadas de aves estão cada vez mais disponíveis, e conseqüentemente, são mais utilizadas na fabricação de processados, como salsichas e mortadelas. (TRINDADE et al., 2008).

2.2 Carne Mecanicamente Separada de Frango

O abate e o processamento de frangos geram produtos de menor valor agregado, como dorso, pescoço, ossos de coxa e caixa torácica, ainda com quantidade significativa de carne, impossível de ser retirada manualmente de forma econômica. Estas partes, que representam cerca de 24% da parte comestível da carcaça, têm sido submetidas à separação mecânica da carne remanescente, denominada carne mecanicamente separada de frango (CMSF) (XAVIER; BERAQUET, 1994).

O Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) descreve a “Carne Mecanicamente Separada”, como sendo a carne obtida por processo mecânico de moagem e separação de ossos, carcaças ou partes de carcaças, com exceção dos ossos da cabeça, submetidos à separação mecânica em equipamentos especiais (BRASIL, 2000).

O processo de separação mecânica ocasiona trituração dos ossos e consequente liberação da medula, rompendo células e tomando a CMSF um meio favorável a reações químicas e ao desenvolvimento de microrganismos sendo, portanto, recomendado que a CMSF seja separada em temperatura menor que 10 °C e siga imediatamente para refrigeração à temperatura menor que 4 °C por no máximo 24 horas ou, refrigeração na temperatura de no máximo 0 °C por 72 horas. Poderá ainda, ser feito o armazenamento congelado em blocos com espessura de 15 cm e conservada a -18 °C no prazo máximo de 90 dias (BRASIL, 2000).

O uso de CMSF em produtos cárneos é variável de acordo com cada produto. Em mortadelas e salsichas esta matéria-prima pode estar presente em um limite máximo de 60% da formulação, já em linguças do tipo Calabresa, Tipo Portuguesa e Paio a presença é permitida em um limite máximo de 20%, desde que seja declarado no rótulo (BRASIL, 2000).

A CMSF é muito utilizada como matéria-prima de produtos cárneos, principalmente pela boa funcionalidade tecnológica e baixo custo. Entretanto é frequentemente causa de defeitos nos produtos cárneos devido a sua pobre condição microbiológica, podendo afetar adversamente a estabilidade dos produtos, já que apresenta comumente elevada carga de microrganismos deterioradores,

sendo, além disso, uma fonte de microrganismos patogênicos (SILVEIRA et al., 2003).

2.2.1 Histórico e Formas de Obtenção

As primeiras máquinas de separação mecânica foram desenvolvidas para peixes, no Japão, no final da década de 1940. Este processo surgiu da necessidade da indústria pesqueira em aproveitar inúmeras espécies de peixes que eram subutilizadas e da crescente demanda por produtos cuja matéria-prima consistia em carne mecanicamente separada de peixes (FIELD, 1988).

A CMSF surgiu no final da década de 50, nos Estados Unidos da América. O surgimento da CMSF se deu pela preferência dos consumidores por cortes de frangos e filés ao invés dos frangos inteiros. A predileção por cortes de frangos despertou a necessidade de encontrar meios para o aproveitamento de dorsos, pescoços e ossos resultantes da desossa. Desta forma, a CMSF começou a ser utilizada na fabricação de inúmeros produtos como mortadelas, salsichas, salames e sopas desidratadas (TRINDADE et al., 2008).

No Brasil, nas últimas décadas a comercialização de partes e cortes de frango teve um grande crescimento, motivado principalmente pelas exportações de cortes especiais, pela criação e desenvolvimento do mercado interno e pelo início da industrialização da carne de frango (BALDINI, 1994).

Atualmente, o processo mais usado para a separação mecânica de aves consiste em proceder ao corte da matéria-prima inicial, separar os ossos e tendões da carne utilizando uma rosca sem fim, no interior do equipamento, para forçar a passagem em cilindros perfurados ou em placas justapostas, com espaço entre si que funcionam como uma peneira (FRONING; MCKEE, 2001).

Basicamente, dois sistemas podem ser utilizados. Os equipamentos mais antigos operam pressionando a carne e o osso contra uma peneira cilíndrica ou um cilindro dotado de microrranhuras, ou microcavidades, por onde passam a carne e a medula – o material mais mole – separando-se do material duro, composto de ossos e cartilagens. Outro sistema de extração é o hidráulico que consta de uma série de anéis filtrantes coaxiais estacionários, por onde flui o material mole (carne e medula). Este sistema também dispensa a pré quebra dos ossos (Figura 1). O osso

extraído é descarregado em forma compacta. O sistema é descontínuo e o rendimento é menor que o obtido pelas outras máquinas, no entanto a porcentagem de ossos na CMS é menor e por consequência a porcentagem de cálcio também. (BALDINI, 1994).

Figura 1 - Máquina para produção de Carne Mecanicamente separada de Frango (CMSF). Sistema Hidráulico.

Fonte: Brito (2012).

Os novos equipamentos geralmente têm como princípio o uso de dois estágios de compressão: num primeiro estágio o material é submetido a uma pressão suave para remover a carne da superfície dos ossos evitando a incorporação da medula óssea; a carne obtida mantém sua integridade e poderia ser considerada carne moída. Num segundo estágio, a carne é comprimida em uma rosca sem fim contra uma peneira similar às máquinas de um estágio só e a carne obtida é considerada CMSF (BERAQUET, 2000).

2.2.2 Características Nutricionais

A CMSF é composta de tecidos musculares, adiposos e conectivos e de acordo com diferentes autores, a composição centesimal pode variar de 59,9 a 70,15% de umidade, 12,45 a 15,2% de proteína, 15 a 22,5% de gordura e 1,0 a 2,1% de fração de cinzas (CONTRERAS-CASTILLO; TRINDADE; FELÍCIO, 2008; GOMES et al., 2003a; POLLONIO, 1994).

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a CMSF deve apresentar, no mínimo, 12% de proteína e no máximo 30 % de gordura (BRASIL, 2000). Variações na composição de CMSF estão intimamente relacionadas a fatores como: idade da ave, relação carne/osso, corte, máquina de desossa, o tipo de desossadora mecânica, a espécie, o conteúdo de pele e desnaturação protéica (FRONING, 1976). Aves mais novas geralmente têm maior teor de lipídios e componentes heme na medula óssea que influenciam na composição da CMSF. A quantidade de pele pode aumentar com consequente aumento de gordura, enquanto o colágeno da pele é encontrado em maior quantidade no resíduo ósseo (FRONING; MCKEE, 2001).

O processo de desossa mecânica causa considerável ruptura celular, resultando numa carne de composição diferente da matéria-prima original. O teor de gordura em geral é mais alto devido à incorporação de lipídios existentes na gordura subcutânea e medula óssea (SILVEIRA, 1994).

A CMSF é uma boa fonte protéica (FRONING, 1976). Negrão et al. (2005) avaliaram biologicamente a qualidade protéica da farinha de CMSF através do balanço de nitrogênio e crescimento de ratos e concluíram que a CMSF apresenta razoáveis propriedades nutricionais, com bom balanço de aminoácidos, entretanto lisina está presente em baixas concentrações, sendo um aminoácido limitante.

A CMSF apresenta alta quantidade de cálcio devido à elevada presença de fragmentos ósseos neste produto. Em estudo realizado por Contreras-Castillo, Trindade e Felício (2008) foram encontrados valores de cálcio de 0,29% e 0,45%, respectivamente, para galinhas matrizes de corte e poedeiras comerciais brancas. Segundo a legislação brasileira a quantidade máxima permitida de cálcio é de 1,5% (base seca) (BRASIL, 2000).

2.3 Irradiação de Alimentos

O termo radiação refere-se aos processos físicos de emissão e propagação de energia, seja por intermédio de fenômenos ondulatórios, seja por partículas dotadas de energia cinética (GERMANO; GERMANO, 2008).

A radiação é a energia eletromagnética que mantém as partículas atômicas juntas. Mudanças nas forças entre as partículas atômicas (prótons, nêutrons,

elétrons) resultam na desestabilização do átomo. Ele se re-estabiliza emitindo energia para reequilibrar os núcleos. O aumento do nível de energia dos elétrons faz com este acabe mudando seu nível energético e o retorno deste elétron para sua camada original gera dissipação desta energia. Essa energia eletromagnética e essa emissão são denominadas radiação. Essa radiação pode ter diversas formas dependendo do nível de energia que está sendo liberado (BREWER, 2009a).

O processo de irradiação pode gerar um ou mais de três resultados (figura 1): ionização (remoção de elétron), dissociação (perda de hidrogênio) e excitação (mudança de nível energético dos elétrons para um nível mais elevado). Os principais produtos da reação de ionização são os radicais livres que são normalmente muito reativos. Por causa da sua alta reatividade, os radicais livres produzem efeitos primários e com isso os efeitos secundários podem ocorrer. Os radicais livres podem sofrer vários tipos de reação, tais como: recombinação, captura de elétrons ou dimerização. Também podem ocorrer que os produtos sejam predominantemente dependentes de várias condições como dose, taxa de dose e temperatura. A presença de oxigênio e água e quantidade relativa desses também podem ter uma profunda influência no processo radiolítico, produzindo substâncias que muitas vezes não estavam presentes originalmente (SOMMERS; FAN, 2006).

Figura 2 - Efeitos químicos do processo de irradiação.

Fonte: Adaptado de Diehl (1990).

A radiação ionizante é aquela capaz de converter átomos e moléculas para íons por remoção de elétrons. Radiação ionizante pode ser partículas energeticamente carregadas como os elétrons ou fótons de alta energia como por exemplo os raios gamma (DIEHL, 1990).

A irradiação de alimentos é o processo de aplicação dessa energia a um material tal como os alimentos, com a finalidade de esterelizá-lo ou preservá-lo pela destruição de microrganismos, parasitas, insetos e outras pragas. (GERMANO; GERMANO, 2008).

De acordo com o “Codex General Standard for Irradiated Foods da Codex Alimentarius Commission”, três tipos de fonte de radiação são atualmente autorizados para a irradiação de alimentos: 1) o radionuclídeo cobalto-60 ou Césio-137, 2) os elétrons gerados por uma máquina em uma energia máxima de 10 milhões de elétron-volts (MeV) e 3) raios-X gerados por uma máquina com uma energia máxima de 5 MeV (INTERNATIONAL CONSULTATIVE GROUP ON FOOD IRRADIATION, 1995).

Nenhuma destas fontes anteriormente citadas tem energia suficiente para induzir radioatividade nos alimentos, entretanto todas elas têm energia suficiente para remover elétrons dos átomos para formar íons ou radical livre. Os radicais livres colidem com outras ligações químicas nas diversas moléculas presentes no alimento, incluindo DNA microbiano, quebrando-as e levando a destruição dos microrganismos (OLSO, 1998).

Quando a radiação gama penetra em um meio (por exemplo, no alimento) toda ou parte da energia de radiação é absorvida pelo meio. Esta energia é chamada de dose absorvida. A unidade a qual a dose é mensurada é o Gray (Gy); e é equivalente a 1 J/Kg. Um kGy (kilogray) = 1000 Gy (DIEHL, 1990).

A energia absorvida por unidade de tempo é chamada de taxa de dose. fontes de radiação gama fornecem relativamente uma baixa taxa de dose, enquanto que aceleradores de elétrons fornecem uma alta taxa de dose. Como consequência, para alcançar uma dose de absorção específica, a irradiação com uma fonte gama pode levar muitas horas, por outro lado a irradiação com acelerador de elétrons pode levar apenas segundos ou minutos (DIEHL, 1990). Sendo assim, de acordo com a configuração da fonte de radiação, as taxas de dose de radiação podem mudar de kiloGrays por hora para kiloGrays por segundo.

Os efeitos primários e secundários da radiação dependem da energia absorvida pela substância irradiada. A formação de produtos normalmente aumenta linearmente com a dose, mas esta afirmação pode não ser verdade se os produtos radiolíticos formados na faixa de dose baixa forem destruídos pela radiação, ou quando pequenas quantidades de substâncias antioxidantes estão presentes no sistema irradiado. Em relação aos efeitos da taxa de dose, as fontes de radiação gamma normalmente usam fontes com taxas de dose menores do que 10 Gy/seg; e nesta faixa de taxa de dose não são observados efeitos. Já os aceleradores de elétrons usam fontes com taxas de dose entre 10^4 e 10^9 Gy/seg isso pode significar que, particularmente na extremidade final desse intervalo, os produtos radiolíticos produzidos por uma dose administrada são formados dentro de tão pouco tempo que têm mais chances de reagir entre si por captura de elétrons e recombinação, do que reagir com as moléculas da substância irradiada. Esperam-se desse modo, menores alterações radiolíticas com altas taxas de dose, quando comparadas a baixas taxa de dose (DIEHL, 1990).

Os raios gama têm maior capacidade de penetração no alimento do que os elétrons, por isso o uso de aceleradores de elétrons no processo de irradiação de alimentos, somenter é efetivos, quando for levada em consideração a energia do equipamento, a espessura e a atividade de água do produto a ser irradiado; esta última deve ser considerada também na irradiação com raios gama (GAO, 2000).

Mais de 1000 indústrias com fontes de aceleradores de elétrons são usadas para uma variedade de processos de radiação, principalmente para melhorar a qualidade tecnológica de produtos plásticos e de borracha, para a esterilização de equipamentos médicos, além do uso para a irradiação de alimentos (SOMMERS; FAN, 2008).

Vários métodos são usados para produzir alta energia e feixe de elétrons com alta potência. Estes incluem, por exemplo, aceleradores de potencial constante, de corrente contínuas, de microondas linear (Linacs) e radiofrequência. A escolha do tipo de acelerador para uma determinada aplicação é geralmente baseada nas exigências do processo de energia de elétrons e potência média dos feixes de elétrons (SOMMERS; FAN, 2008).

Os aceleradores de potencial constante incluem equipamentos com energias de elétrons de 5 MeV a 0,1 MeV. A figura 3 ilustra um acelerador de elétrons: seu

funcionamento é semelhante a um tubo de TV ou monitor de computador, exceto quando a voltagem é muito alta. Elétrons de baixa energia são emitidos de um cátodo aquecido conectado com um terminal negativo de uma fonte de alta voltagem. Eles são acelerados pelo forte campo elétrico em linha gerados de tubos de elétrons. (SOMMERS; FAN, 2008).

Figura 3 - Desenho básico de um acelerador de elétrons.

Fonte: Adaptado de Diehl (1990).

Em 1986, foi iniciada a operação de uma fonte de acelerador de elétrons em Vannes, na França, para a irradiação de carne mecanicamente separada de frango congelada. A finalidade da irradiação era melhorar a qualidade higiênica da carne, destruindo *Salmonella* sp e outros microrganismos patogênicos causadores de doenças (DIEHL, 1990).

Os raios gama consistem em ondas de curto comprimento similares à luz ultravioleta e às microondas, produzidas por isótopos radioativos como cobalto-60 e célio-137. O cobalto-60 é especificamente indicado para uso em radioterapia,

esterelização de produtos hospitalares e irradiação de alimentos. Apresentam-se contidos em cápsulas de aço inoxidável como garantia de segurança (GERMANO; GERMANO, 2008).

A legislação brasileira regulamenta a irradiação através do "Regulamento Técnico para Irradiação de Alimentos", RDC nº 21 de 26/01/2001. A resolução prevê que qualquer alimento poderá ser tratado por radiação ionizante desde que sejam observadas as seguintes condições: a dose mínima absorvida deve ser suficiente para alcançar a finalidade pretendida; a dose máxima absorvida deve ser inferior àquela que comprometeria as propriedades funcionais e ou atributos sensoriais do alimento (BRASIL, 2001).

Em pesquisas realizadas, Gomes (2002) relatou que o processo de irradiação possibilita aumentar a segurança ao consumidor e à cadeia produtiva industrial, uma vez que esta reduziu a contaminação da CMSF por *S. aureus* a níveis aceitáveis frente à legislação brasileira, durante armazenamento refrigerado. Este processamento pode tornar-se interessante para o controle de microrganismos na CMSF, aumentando sua vida de prateleira, já que as vantagens do processo de irradiação vêm ao encontro das características de perecibilidade do referido alimento, o qual sendo um produto cominuído, de fácil deterioração, exige resfriamento rápido a 2 °C, seguido de congelamento, imediatamente após a saída da linha de processamento (BALDINI, 1994).

Além disso, o uso de radiação ionizante com o intuito de diminuir a contagem microbiana e até eliminar possíveis toxinas em alimentos (GRANT; NIXON; PATTERSON, 1993; THAYER; BOYD, 1992) pode contribuir para uma diminuição nos surtos de toxinfecções alimentares, um fator de grande preocupação mundial.

Muitos pesquisadores verificaram que a radiação gama em dose menor do que 10 kGy, é suficiente para matar a maioria dos microrganismos (GOMES; SILVA, 2006; JAVANMARD et al., 2006; OVER et al., 2010; THAYER et al., 1995).

Gomes e Silva (2006) concluíram em seu estudo que a dose de 3,0 kGy foi considerada a melhor para a irradiação de CMSF, pois esta dose foi compatível para a diminuição de microrganismos e apresentou menor efeito negativo nos atributos sensoriais de odor, quando comparada à dose de 4,0 kGy.

Miyagusku, Leitão e Baffa (2003) indicaram a irradiação com dose de 3,0 kGy como a melhor opção tecnológica, possibilitando a sensível extensão da vida-útil dos

filés de peito de frango até 4,4 vezes superior ao controle) sem afetar, de forma pronunciada, as características sensoriais do alimento.

Gunes et al. (2011) demonstraram que o risco de microrganismos *Listeria monocytogenes* e *Salmonella enteritidis* pôde ser significativamente reduzido com a aplicação de uma dose de 3 kGy de radiação ionizante em almôndegas.

O sucesso do tratamento com irradiação utilizando baixas doses de radiação ionizante depende do subsequente armazenamento do alimento em temperatura de refrigeração, quando o crescimento dos microrganismos é retardado ou prevenido (MONK; BEUCHAT; DOYLE, 1995).

O estudo realizado por Guillén-Casla et al. (2011) concluiu que a irradiação com aceleradores de elétrons modificou a composição química dos alimentos estudados e esse efeito é dependente do tipo e composição do alimento tratado. A irradiação com altas doses (6 a 8 kGy) causou alterações na composição química do alimento, enquanto que doses baixas (1 ou 2 kGy) não afetaram os parâmetros químicos dos alimentos estudados.

Vários estudos têm tentado estabelecer a melhor dose de radiação para diminuir a carga microbiana dos alimentos, sem contudo alterar significativamente suas características sensoriais. No entanto, há pouca informação disponível sobre o uso e os efeitos de diferentes taxas de dose de radiação gama no processamento industrial (DIEHL, 1995).

Lacroix et al. (2000) usaram duas diferentes taxas de dose (2 kGy /h e 20 kGy /h) para avaliar as características microbiológicas e de qualidade da proteína de lombo de suíno e encontraram diferenças significativas quando comparados os resultados obtidos entre as taxas de dose testadas.

Beaulieu et al. (2002) avaliaram o efeito da taxa de dose (4,5 kGy /h e 32 kGy /h) de radiação gama sobre a qualidade bioquímica e escurecimento dos cogumelos *Agaricus bisporus* e encontraram diferenças significativas quando comparados os resultados obtidos entre as taxas de dose testadas.

Neste contexto, estudos que determinem os efeitos das taxas de dose de radiação sobre as características sensoriais e qualidade de CMSF poderiam fornecer à indústria de alimentos diferentes opções de processamento utilizando radiação ionizante.

2.4 Características de Qualidade

2.4.1 Oxidação Lipídica

A autooxidação dos lipídios em produtos cárneos envolve a peroxidação de ácidos graxos insaturados, em particular daqueles associados com fosfolípedeos localizados nas membranas celulares. A susceptibilidade ao processo oxidativo depende da capacidade dos ácidos graxos doarem um átomo de hidrogênio, com produção de um radical livre de lipídeo que, por sua vez, reage com oxigênio molecular para formar um radical peróxi. Assim, os átomos de carbono adjacentes às duplas ligações tendem a doar um átomo de hidrogênio, levando a formação de radicais estabilizados por ressonância (HALLIWELL; GUTTERIDGE, 1990).

As reações da autooxidação são divididas em três partes, de acordo com Shahidi (1997):

Iniciação

Propagação

Terminação

Na iniciação ocorre a formação dos radicais livres do ácido graxo devido à retirada de um hidrogênio do carbono na molécula do ácido graxo, em condições favorecidas por luz e calor (TOLEDO; ESTEVES; HARTMANN, 1985). Na propagação os radicais livres que são prontamente susceptíveis ao ataque do

oxigênio atmosférico, são convertidos em outros radicais, aparecendo os produtos primários de oxidação (peróxidos e hidroperóxidos), cuja estrutura depende da natureza dos ácidos graxos presentes. Por fim, na terminação, dois radicais combinam-se, com a formação de produtos estáveis (produtos secundários de oxidação) obtidos por cisão e rearranjo dos peróxidos (epóxidos, compostos voláteis e não voláteis) (SILVA; BORGES; FERREIRA, 1999).

Os produtos primários da autooxidação lipídica são hidroperóxidos, os quais não causam problemas de “flavour” e de ranço. Entretanto, a decomposição de tais hidroperóxidos em produtos secundários como hidrocarbonetos, álcoois, cetonas e aldeídos influenciam significativamente o “flavour” e sabor das carnes. Dependendo da composição dos ácidos graxos nos lipídios, a proporção desses produtos de oxidação irá variar extensivamente (GOMES, 2002).

Assim como outros tipos de processamento, a irradiação provoca alterações químicas no alimento, incluindo a produção de compostos voláteis e de espécies reativas de oxigênio (ROS). Os ROS são catalisadores da oxidação lipídica, uma das principais causas da deterioração da qualidade de produtos cárneos crus ou cozidos, durante o armazenamento refrigerado ou congelado (SHAHIDI, 1997).

Dentre os métodos que podem ser aplicados para avaliar o estado de oxidação lipídica de produtos cárneos durante o armazenamento tem-se a análise de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS). O teste do TBARS quantifica o malonaldeído, um dos principais produtos de decomposição dos hidroperóxidos de ácidos graxos poliinsaturados, formado durante o processo oxidativo: o malonaldeído é um dialdeído de três carbonos, com grupos carbonilas nos carbonos C-1 e C-3 (ST-Angelo, 1996). A reação envolve o ácido 2-tiobarbitúrico com o malonaldeído, produzindo um composto de cor rósea, medido espectrofotometricamente a 532 nm de comprimento de onda. A reação acontece em meio ácido (PH 1-2) e alta temperatura (100 °C), no sentido de aumentar a sua velocidade e sensibilidade (BERSET; CUVELIER, 1996). A formação do composto ácido tiobarbitúrico-malonaldeído, na proporção de 2:1, é possivelmente iniciada pelo ataque nucleofílico, envolvendo o carbono 5 do ácido tiobarbitúrico e o carbono 1 do malonaldeído, seguido de desidratação e reação similar subsequente, do composto intermediário, com uma segunda molécula de ácido tiobarbitúrico, na proporção 1:1 (NAIR; TURNER, 1984).

A quantificação de malonaldeído é feita a partir de curvas de calibração construídas com concentrações conhecidas de malonaldeído. Os padrões mais freqüentes utilizados são 1,1,3,3-tetrametoxipropano (TMP) e 1,1,3,3-tetraetoxipropano (TEP) que, nas condições ácidas do teste, sofrem hidrólise, resultando na liberação do malonaldeído. Os resultados expressos em unidades de absorbância por unidade de massa de amostra ou em valor de TBARS ou número de TBARS, definidos como massa, em mg, de malonaldeído por Kg de amostras (ROBARDS; KERR; PATSALIDES, 1988; ST-ANGELO, 1996).

Devido a sua simplicidade, aceitabilidade e boa correlação com a análise sensorial, a análise de TBARS permanece o procedimento mais difundido para a estimativa do estado de oxidação da carne e produtos cárneos (SHAHIDI, 1997), sendo este método utilizado nos trabalhos de Gomes et al. (2003a), Gomes e Silva (2006), Gunes et al. (2011), Ismail et al. (2008, 2009a, b), Lee e Ahn (2005), Miyagusku (2008), Mirshekar, Dastar e Shabanpour (2009), Nam et al. (2007), Trindade, Castillo e Felício (2006), Du e Ahn (2002).

Diferentes metodologias para a análise de TBARS baseadas em espectrofotometria têm sido reportadas para aplicação em carne e produtos cárneos. Dentre eles podemos destacar o teste diretamente na amostra, teste de extração ácido-aquosa da amostra, teste de extração de lipídios da amostra e teste com uso de destilação (FERNÁNDEZ; PÉREZ-ÀLVAREZ; FERNÁNDEZ-LOPES, 1997).

O teste com o uso de destilação é considerado ser o mais sensível e também mais adequado para amostras ricas em gordura (>10%), onde pode ocorrer turbidez em extratos de amostras (GOMES; SILVA, 2006; SHAHIDI; HONG, 1991; TRINDADE; CASTILLO; FELÍCIO, 2006; GOMES et al., 2003b).

A irradiação significativamente aumenta os valores de TBARS em produtos ricos em lipídios sobre diferentes condições de estocagem, condições de processamento e tipos de embalagem (DU et al., 2000; GOMES et al., 2002; HENRY et al., 2010; LEE; LOVE; AHN, 2003; PARK et al., 2010; RABABAH et al., 2006; RAMAMOORTHY et al., 2010; TRINDADE; MANCINI-FILHO; VILLAVICENCIO, 2009, 2010; YILDIRIM; UZUNLU; TOPUZ, 2005).

Produtos cárneos tais como a carne de frango ou salsichas contendo CMSF em sua formulação, têm sido considerados aceitáveis sensorialmente quando os

valores de TBARS atingem 4,34 e 4,77 mg Mal.kg⁻¹ de amostra, respectivamente (KANNATT et al., 1998; LEE et al., 1997).

2.4.2 Características Microbiológicas

A carga microbiana das aves é determinada por vários fatores, tais como espécie e saúde do animal vivo, condições antes e durante o abate, resfriamento da carcaça, condições sanitárias de manuseio, tipo de embalagem e condições de distribuição e estocagem (LOWRY; GILL, 1985).

Os microrganismos presentes na CMSF são determinados primariamente pela microbiota que está presente sobre a carcaça inteira (GOMES, 2002). A matéria-prima da CMSF pode apresentar elevada carga microbiana, como consequência da contaminação durante o processamento. A grande área de superfície devido às pequenas partículas, a liberação de fluidos celulares ricos em nutrientes, devido à maceração do tecido e ao calor gerado durante a desossa mecânica, propiciam o desenvolvimento de bactérias (KUMAR et al., 1986). Além disso, durante o processo de evisceração podem ocorrer rupturas do trato intestinal com extravasamento de conteúdo gastrointestinal, ocasionado a contaminação da carcaça (SAMS, 2001).

A população de bactérias psicotróficas que são encontradas imediatamente após o abate na carcaça de aves são originárias das penas e dos pés das aves vivas, do abastecimento de água na planta de processamento, do tanque de resfriamento e dos equipamentos utilizados no processamento. Estas bactérias deterioradoras geralmente não são encontradas nos intestinos das aves vivas e apresentam um alto potencial de sobrevivência na superfície dos equipamentos, usados no processamento e no piso da planta de processamento, facilitados pelo acúmulo de umidade e resíduos de alimentos presentes nestes ambientes. Além disso, as baixas temperaturas usadas durante o processamento das aves não são efetivas na inibição do crescimento destas bactérias (SAMS, 2001).

A microbiota natural da carne fresca é constituída de microrganismos mesófilos e psicotróficos e os mais comumente encontrados são *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Alcaligenes*, *Achromobacter*, *Moraxella*, *Shewanella*, bactérias lácticas e enterobactérias (CONTRERAS et al., 2003).

Vários autores aplicam em seus estudos a contagem total de bactérias psicrotróficas para avaliar a vida de prateleira de uma matéria-prima ou produto estocado sobre refrigeração (DOGBEVI; VACHON; LACROIX, 1999; GOMES et al., 2003a; GOMES; SILVA, 2006; LACROIX et al., 2000; MIYAGUSKU; LEITÃO; BAFFA, 2003; TRINDADE; CASTILLO; FELÍCIO, 2006).

Sommers e Fan (2011) relataram o uso de radiação ionizante como uma tecnologia efetiva para o controle de *Yersinia pestis*, um microrganismo psicrotrófico patogênico, em produtos emulsionados como salsicha.

Dentre os patógenos mais frequentemente associados à carne de aves, incluindo a CMSF, tem-se a *Salmonella* spp, o *Clostridium perfringens* e o *Staphylococcus aureus* (INTERNATIONAL COMMISSION ON MICROBIOLOGICAL SPECIFICATIONS FOR FOODS, 1980).

A *Salmonella* spp é um dos microrganismos mais frequentemente envolvidos em casos e surtos de doenças de origem alimentar em diversos países, inclusive Brasil (GOMES, 2002). Carvalho e Cortez (2005) encontraram a presença deste microrganismo em 25% (15/60) das amostras de carne mecanicamente separada de frango analisadas.

Alimentos à base de carne bovina e de carne de frango têm sido os principais causadores de intoxicação alimentar por *C. perfringens*. A maioria dos surtos relatados está associada à alimentação em estabelecimentos institucionais. O *S. aureus* é uma bactéria colonizadora da mucosa de homens e animais domésticos, algumas linhagens são produtoras de enterotoxinas (FRANCO; LANDGRAF, 1996). As enterotoxinas são proteínas altamente termoestáveis, responsáveis no Homem pelos quadros de estafiloenterotoxemia ou estafiloenterotoxiose (GERMANO; GERMANO, 2008).

De acordo com o Regulamento técnico de identidade e qualidade da carne mecanicamente separada, os valores máximos permitidos para *Salmonella*, *S. aureus* e *C. perfringens* são respectivamente: $n=5$, $c=2$ em 25g, $c=2$, $M= 5 \times 10^3$ (UFC).g⁻¹ e $n= 5$, $c= 2$, $M = 1 \times 10^3$ UFC.g⁻¹ (BRASIL, 2000).

Em relação às bactérias psicrotróficas não existe um limite máximo permitido, segundo Miyagusku (2008) em contagens superiores a 7,0 Log UFC/g, observa-se a presença de limosidade e odor desagradável.

A relevância de estudos acerca das características microbiológicas da CMSF na área de tecnologia de alimentos está intimamente relacionada ao desenvolvimento e utilização de processos e técnicas que controlem a carga microbiana total, bem como os patógenos de origem alimentar em níveis seguros para o consumidor (GOMES, 2002).

A cinética de inativação de microrganismos pela irradiação é tipicamente chamada de valores D_{10} , sendo definida pela dose necessária de radiação para a inativação de 90% do microrganismo presente no alimento (ZHANG et al., 2011). Este valor é variável de acordo com o tipo de microrganismo (quadro 1) e condições extra celulares como: pH, temperatura e composição química do alimento (tipo de alimento, conteúdo de gordura, temperatura do alimento) ao qual o microrganismo está suspenso têm forte influência nesta inativação (O'BRYAN et al., 2008; SOMMERS; FAN, 2006).

Quadro 1 - Valores D_{10} para microrganismos patogênicos e deterioradores

Patógeno	D_{10} (kGy)	Meio
<i>Aeromonas hydrophila</i>	0,17	Carne vermelha
<i>Clostridium jejuni</i>	0,18	Carne vermelha
<i>Listeria. monocytogenes</i>	0,42 - 0,55	Carne de frango
	0,57 - 0,65	Carne de suíno
	0,51 - 0,59	Carne vermelha
<i>Salmonella</i> spp	0,38-0,50	Carne de frango
<i>Staphylococcus aureus</i>	0,42	Carne de frango
	0,11	Carne vermelha
<i>Clostridium botulinum</i>		Carne de frango
<i>Pseudomonas putida</i>	0,08 – 0,11	Carne de frango

Fonte: Adaptada de Sommers e Fan (2006).

A radiação ionizante pode ser efetiva num programa de análises e pontos críticos de controle, para destruir patógenos entéricos (MOLINS; MOTARJEMI;

KÄFERSTEIN, 2001) e deterioradores associados a produtos aviários, aumentando a segurança ao consumidor e a vida útil do produto.

2.4.3 Características Sensoriais

2.4.3.1 Odor

A composição química da carne fresca fornece compostos precursores do desenvolvimento de aromas e sabores desejáveis ou indesejáveis. Uma grande variedade de sabores e odores voláteis ativos ocorrem na carne (ácidos, alcoóis, aldeídos, compostos aromáticos, ésteres, éter, furanos, hidrocarbonetos, cetonas, lactonas, pirazinas, piridinas, pirroles, sulfidos, tiazoles, tiopentanos e oxazoles) (SHAHIDI, 1994).

Os odores da carne irradiada têm sido descritos como ovo podre, doce, carne cozida, queimado, milho assado, enxofre, metálico, fígado, álcool, ácido acético, entre outros. Os compostos voláteis responsáveis por estes odores parecem ser oriundos da influência da energia eletromagnética (radiação gama, aceleradores de elétrons) e da geração de ROS ($^1\text{O}_2$, $\text{HOO}\cdot$, $\text{HO}\cdot$, $\text{ROO}\cdot$, ROOH , etc) que posteriormente geram injúrias às proteínas e moléculas lipídicas. A irradiação resulta em alcanos e alcenos que são derivados de ácidos graxos insaturados e da quebra de aminoácidos. Estes produtos formados resultam em compostos voláteis como pentanal, hexanal, heptanal, entre outros, que podem produzir odores pungentes, ranço, mofo e gordura. Conteúdos voláteis sulfúricos parecem ser derivados da degradação de aminoácidos como cisteína e metionina, produzindo compostos voláteis que resultam em odores pútridos, de repolho, peixe, enxofre, ovo podre e fígado (BREWER, 2009a).

A irradiação da carne no estado congelado (SHAHIDI, 1997), o uso de embalagens com atmosferas modificadas e uso de antioxidantes poderá reduzir ou eliminar os efeitos sensoriais negativos deste processo, principalmente aqueles associados com a produção de “off flavour”, odor de irradiado e formação de ROS (BREWER, 2009a).

Gomes et al. (2002) avaliaram o efeito da radiação gama na aparência, odor e oxidação lipídica da carne mecanicamente separada de frango e verificaram que os

compostos voláteis associados com o odor de irradiado foram dissipados da carne durante o período de estocagem.

Segundo Miyagusku, Leitão e Baffa (2003) o aumento da dose de irradiação provocou alterações sensoriais perceptíveis nos filés de peito de frango: odor de irradiado (odor semelhante ao de pena ou pelo queimado), que embora tenha diminuído ao longo do período de armazenamento, continuou sendo detectado pelos provadores, vindo a constituir uma característica indesejável.

2.4.3.2 Cor

A coloração da carne é definida pela concentração de pigmentos (mioglobina, hemoglobina), seus estados químicos e as propriedades de dispersão da luz na carne (LAWRIE, 1998).

A mioglobina é uma metaloproteína composta de globina e ferro contendo o grupo prostético heme. A globina pode existir no estado nativo ou desnaturado, enquanto o átomo de ferro pode existir em vários estados de oxidação e o anel de porfirina pode estar intacto, oxidado, polimerizado ou aberto. O comportamento da mioglobina está relacionado com a sua função biológica que é de estocagem de oxigênio, até que seja necessário o uso deste nos tecidos vivos e a química requer a otimização desta função. A estocagem de oxigênio é permitida por habilidades dos fragmentos heme em submeter-se a oxidação ou redução e reações de transferências de elétrons (BREWER, 2004).

A cor é um parâmetro importante de qualidade de produtos cárneos frescos e produtos cárneos adicionados de nitrito. O entendimento básico da química da mioglobina é, portanto, crucial e a química inorgânica da carne deve incluir a descrição quantitativa da formação de complexos de mioglobina com pequenos ligantes como O_2 , NO, H_2O e CO, bem como a cinética de transformação destes complexos sobre várias condições de temperatura, pressão de oxigênio, pH, força iônica e exposição à luz (MOLLER; SKIBSTED, 2006).

Análises objetivas de cor da carne realizadas através de espectrofotômetro, avaliando-se os parâmetros L^* (luminosidade), a^* (intensidade de vermelho/verde) e b^* (intensidade de amarelo/azul) são propostas em trabalhos de vários pesquisadores, tais como: Gomes et al. (2003a), Ismail et al. (2008, 2009a, b),

Lacroix et al. (2000), Souza, Arthur e Canniatti-Brazaca, (2007), Trindade, Castillo e Felício (2006).

A irradiação da carne é um método efetivo para a redução microbiana, mas tem influência significativa na coloração da carne. O processo de irradiação em carnes pode aumentar a tonalidade da cor vermelha, dependendo da espécie, do tipo de músculo e das doses utilizadas. (LIU et al., 2003).

A manutenção da cor ideal da carne durante o processo de irradiação pode ser conseguida através da combinação de antioxidantes na alimentação dos animais, avaliação das condições da carne (pH, oximioglobina x metamioglobina) antes da irradiação, adição de antioxidantes diretamente no produto, embalagens com atmosferas modificadas e controle da temperatura (BREWER, 2004).

Alterações sensoriais em alimentos irradiados, mais especificamente alterações na textura, cor, rancificação e odor podem ser eliminados com baixas temperaturas durante a irradiação, aplicação de substâncias absorventes e uso de condimentos (SPOTO et al., 2000.)

2.4.4 Propriedades Funcionais

O termo propriedade funcional se define como toda propriedade não nutricional que influencia a utilidade de um ingrediente em um alimento. A maior parte das propriedades funcionais influi sobre o caráter sensorial do alimento (em especial, a textura), mas também podem ter um papel decisivo no comportamento físico dos alimentos ou dos ingredientes alimentícios durante sua preparação, transformação ou armazenamento (CHEFTEL; CUQ; LORIENT, 1989).

As propriedades funcionais se referem a qualquer propriedade físico-química ou química que afeta o processamento ou o produto final e, sistemas de alimentos. Elas refletem a completa interação entre a composição, estrutura, conformação e propriedades físico-químicas das proteínas; assim como sua interação com os outros componentes do alimento, tais como lipídios, proteínas, carboidratos, sais, etc (FARFAN, 1985).

Interações entre lipídios oxidados e outros constituintes musculares com proteínas alteram as propriedades funcionais, afetando negativamente a qualidade do produto final (POLLONIO, 1994).

Proteínas e mais especificamente proteínas miofibrilares, constituem-se nos principais componentes estruturais e funcionais, sendo responsáveis pelas propriedades de emulsificação, gelatinização e retenção de água e gordura em produtos cárneos processados (SMITH, 1988). A funcionalidade das proteínas é influenciada por propriedades que incluem carga superficial, peso molecular, conformação, hidrofobicidade e tendências de associação/dissociação, as quais, por sua vez, são afetadas por fatores extrínsecos como pH, força iônica, conteúdo de umidade, temperatura e condições de processamento (WILDING et al., 1986).

Resultados encontrados por Pollonio (2004) mostram que as propriedades funcionais da carne mecanicamente separada de frango, tais como valores de solubilidade, índice de atividade de emulsão e líquido liberado de géis formados por proteínas miofibrilares, foram negativamente afetados durante o armazenamento congelado.

Na emulsão cárnea, as gotículas de gordura ficam dispersas em meio aquoso contendo proteínas solúveis, outros componentes musculares e tecido conjuntivo. Cada gotícula de gordura é recoberta por uma fina camada de proteína solúvel, que funciona como agente emulsionante liberada no meio aquoso a partir das fibras musculares. Portanto, essas proteínas são as responsáveis pela ligação da água e pela estabilização da gordura. A variação na capacidade do tecido animal em emulsificar e reter gorduras na emulsão se dão em função da quantidade de proteínas solúveis em sal, potencialmente disponíveis. A capacidade total dos componentes cárneos em estabilizar a gordura é definida como a capacidade de emulsificação (BARBUT, 2002).

A proteína da carne, especialmente a miofibrilar, por possuir uma porção hidrofóbica e outra hidrofílica atua na interface entre a gordura e a água, permitindo a formação da emulsão (YUNES, 2010).

A avaliação das características de solubilidade de uma proteína permite uma boa indicação das potenciais aplicações destas. Isso se deve ao fato do grau de insolubilidade ser, provavelmente, a medida mais prática da avaliação da desnaturação-agregação proteica. Além disso, as proteínas existentes inicialmente em um estado de desnaturação, parcialmente agregado, mostram frequentemente uma queda na capacidade de geleificação, emulsificação ou formação de espumas.

Para que as proteínas tenham uma boa atividade de emulsão, espumas e géis, a solubilidade inicial deverá ser bastante elevada (CHEFTEL; CUQ; LORIENT, 1989).

O índice de atividade de emulsão é baseado na relação entre a turbidez de uma emulsão e sua área interfacial, a qual por sua vez está relacionada à capacidade da proteína adsorver e estabilizar óleo-água (PEARCE; KINSELLA, 1978).

Uma vez que a oxidação lipídica constitui-se um dos fatores limitantes da qualidade da CMSF, bem como carnes em geral, muitos estudos têm sido conduzidos com o objetivo de prevenir ou ao menos minimizar os efeitos da oxidação sobre a cor, flavour e funcionalidade das proteínas musculares (POLLONIO, 1994).

2.5 Antioxidantes

A irradiação induz a degradação de ácidos graxos através da oxidação lipídica, especialmente quando o oxigênio está disponível. É possível que os antioxidantes possam prevenir a queda de qualidade induzida pela irradiação através de mecanismos de prevenção da oxidação lipídica (DU; AHN, 2002; RABABAH et al., 2006).

Antioxidantes são substâncias capazes de sequestrar ou impedir a formação de radicais livres, ou seja, são doadores de prótons (FENNEMA, 2007).

Os antioxidantes são classificados segundo sua forma de atuação em antioxidantes primários e secundários. Os primários (BHA, BHT, TBHQ, tocoferóis, galatos) atuam interrompendo a cadeia de reação por meio da doação de elétrons ou hidrogênios aos radicais livres, resultando em produtos termodinamicamente estáveis e/ou reagindo com os radicais livres formando o complexo lipídio-oxidante. Os antioxidantes secundários (ácido cítrico, ácido tartárico, polifosfatos, lecitinas, ácidos ascórbicos e eritórbicos) atuam retardando a etapa de iniciação da auto-oxidação por diferentes mecanismos, quer seja agindo como quelantes, formando complexos com metais ou como sequestrantes, reagindo com o oxigênio livre removendo-o do sistema (GERMANO; GERMANO, 2008).

Na seleção de antioxidantes para utilização em carne e produtos cárneos, são desejáveis as seguintes propriedades: eficácia em baixas concentrações (0,001 a

0,01%); ausência de efeitos indesejáveis na cor, no odor, no sabor e em outras características do alimento; compatibilidade com o alimento e fácil aplicação; estabilidade nas condições de processo e armazenamento, de modo que o composto e seus produtos de oxidação não podem ser tóxicos, mesmo em doses muitos superiores aquelas que normalmente seriam ingeridas no alimento. Além disso, na escolha de um antioxidante deve-se considerar também outros fatores, incluindo legislação, custo e preferência do consumidor por antioxidantes naturais (RAMALHO; JORGE, 2006).

Eritorbatos são agentes redutores que atuam em produtos cárneos, sequestrando o oxigênio, mudando o potencial redox do sistema e/ou reduzindo as oxidações indesejáveis dos produtos, minimizando a descoloração durante armazenamento (TELLEFSON; BOWERS, 1981; TOMPKIN; CHRISTIANSEN; SHAPARIS, 1978).

Trindade et al. (2008) acompanharam a estabilidade físico-química e microbiológica de microrganismos psicrotróficos e mesófilos aeróbios em carne mecanicamente separada obtida de duas linhagens de aves e estocadas durante 99 dias a -18 °C, adicionadas previamente de mistura de conservante (nitrito: 150 ppm) e antioxidante (eritorbato de sódio: 500 ppm). Estes autores concluíram que a mistura adicionada antes da estocagem foi efetiva para prolongar a vida útil desta matéria-prima.

O estudo realizado por Nunes (2003) avaliou a estabilidade microbiológica de carne mecanicamente separada e elaboração de um produto reestruturado com filés de peito de galinha de descarte. Segundo esta pesquisadora, o tratamento químico com nitrito e eritorbato não mostrou melhoria na vida útil da carne mecanicamente separada de frango congelada, com relação à estabilidade microbiológica.

Os Fosfatos têm sido utilizados na indústria de carnes principalmente para melhorar a capacidade de retenção de água e outras características de textura (SOFOS, 1986).

O estudo realizado por Pollonio (2004) avaliou o efeito da adição de polifosfatos, nitrito e ascorbato de sódio em carne mecanicamente separada de frango, durante armazenamento congelado e sua influência sobre as propriedades funcionais. Os resultados mostraram que a carne mecanicamente separada de frango, com e sem pele, adicionada da mistura de polifosfatos, nitrito e ascorbato foi

consideravelmente mais estável à oxidação lipídica, indicando expressiva ação antioxidante. Além disso, a ação destes três antioxidantes foi favorável, evitando a desnaturação protéica, indicada pelos valores de resultados obtidos das propriedades funcionais.

Diversos estudos têm sido direcionados no sentido de encontrar produtos naturais com atividade antioxidante, os quais poderão substituir os sintéticos ou fazer associações entre eles, com o intuito de diminuir sua quantidade nos alimentos (OVER et al., 2010; RABABAH et al., 2005; SOARES, 2002; TRINDADE; MANCINI-FILHO; VILLAVICENCIO, 2009, 2010).

Além disso, a conscientização dos consumidores dos riscos à saúde provocados pelos aditivos resultou em indicações às indústrias alimentícias para se evitar o uso de aditivos sintéticos, e desta forma estuda-se a possibilidade do uso de aditivos naturais ou métodos alternativos para estender a vida-de-prateleira dos alimentos, bem como aumentar a segurança e evitar perda de qualidade devido a oxidação lipídica. Uma destas alternativas é o uso de antioxidantes naturais, originários de ervas e especiarias (GEORGANTELIS et al., 2007).

O alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) e a Vitamina E (α -tocoferol) têm demonstrado um ótimo potencial antioxidante em diferentes estudos que visam a aplicação destes em diversos produtos que são susceptíveis à oxidação, tais como carnes bovina, de peru, de suíno e de frangos (KANATT et al., 1998; NAM et al., 2007; ISMAIL et al., 2009a, b; TRINDADE; MANCINI-FILHO; VILLAVICENCIO, 2009, 2010).

Ramalho e Jorge (2006) em sua revisão concluíram que para gordura animal, o ácido caféico e o extrato metanólico de alecrim mostraram ser os antioxidantes mais adequados apresentando inclusive efeito superior ao BHT e BHA, respectivamente.

Trindade, Mancini-filho e Villavicencio (2010) examinaram o efeito de antioxidantes sintéticos (BHT/BHA) e naturais (alecrim e orégano), adicionados individualmente ou combinados, na oxidação lipídica de carnes de hambúrgueres congeladas, irradiadas com fonte de Cobalto-60. Os resultados indicaram que ambos os extratos de alecrim e orégano apresentaram capacidade antioxidante nas carnes de hambúrgueres. Entre os produtos naturais testados, a capacidade antioxidante mais elevada foi obtida a partir de extrato de alecrim.

Lee, Love e Ahn (2003) relataram que a adição da associação de antioxidantes sesamol e α -tocoferol ou galato e α -tocoferol em carne de peru, foram efetivos na redução da oxidação avaliada por TBARS e aldeídos, especialmente sobre condições aeróbicas.

Du e Ahn (2002) avaliando o efeito dos antioxidantes no flavour e cor de salsichas de peru irradiadas com aceleradores de elétrons concluíram que os antioxidantes alecrim e gergelim foram efetivos na redução da cor vermelha induzida pela radiação.

Lacroix et al. (1997) estudaram os efeitos dos antioxidantes alecrim e tomilho na radiólise lipídica de ácidos graxos selecionados e irradiados com radiação gama. Os resultados mostraram que alecrim e tomilho, ambos conhecidos pela sua função antioxidante, reduziram marcadamente a radiólise em ácido oleico, quando irradiado dentro do limite aceito para o processamento industrial de 10 kGy.

Stetzer, Novakofski e Brewer (2009) abordaram em seu estudo os efeitos do ácido cítrico e extratos de alecrim na cor de carne irradiada. Seus resultados demonstraram que os antioxidantes tiveram efeito significativo na cor da carne.

Nesse contexto propõe-se nesse estudo, avaliar condições tecnológicas que viabilizem o uso da radiação ionizante para o processamento da CMSF.

3 OBJETIVO GERAL

Avaliar características sensoriais, microbiológicas, funcionais e a oxidação lipídica da carne mecanicamente separada de frango irradiada em diferentes taxas de dose radiação ionizante (fontes de Cobalto-60 e acelerador de elétrons) e uso de antioxidantes.

3.1 Objetivos específicos

- Parte I - Avaliar o efeito de diferentes taxas de dose (fonte de Cobalto-60) na contagem de bactérias psicrotróficas, bem como sobre os valores de Substancias Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico (TBARS) e características sensoriais da carne mecanicamente separada de frango, ao longo do armazenamento refrigerado.
- Parte II - Avaliar os efeitos de diferentes taxas de dose de radiação ionizante (fonte de Cobalto-60 e acelerador de elétrons) sobre os valores de Substancias Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico, a contagem de bactérias psicrotróficas e propriedades funcionais da carne mecanicamente separada de frango, adicionada ou não de antioxidantes, ao longo do armazenamento refrigerado.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais e Métodos – Parte I

4.1.1 Delineamento Experimental

Amostras de dorso com pele de frango foram coletadas, para análises, em três visitas a um mesmo abatedouro. Cada unidade amostral de 100 g foi acondicionada em saco de polietileno de baixa densidade, transparente, congelada a -18 ± 1 °C em túnel por uma noite e irradiada neste estado com doses de 0,0 kGy (controle), 3,0 - 4,04 kGy. h⁻¹ (taxa de dose elevada) e 3,0 – 0,32 kGy.h⁻¹ (taxa de dose baixa). As amostras foram mantidas congeladas com o uso de gelo seco (- 20 °C). Depois deste processo, as amostras foram armazenadas sob refrigeração (2 ± 1 °C) e foram feitas análises da oxidação lipídica (TBARS), microbiológica com contagem total de psicotróficos, sensorial e de cor por 11 dias sob refrigeração. As análises foram realizadas em triplicata, para cada unidade amostral (Figura 4).

Figura 4 - Planejamento experimental da irradiação de Carne Mecanicamente Separada de Frango com diferentes taxas de dose.

Fonte: Brito (2012).

4.1.2 Irradiação

Foram utilizadas duas diferentes fontes de radiação ionizante para irradiar as amostras de CMSF com dose de 3,0 kGy, a fim de se obter diferentes taxas de dose de radiação, ou seja, uma fonte de radiação de Cobalto-60 do tipo "gamacell" (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN), produzindo uma taxa de dose de 4,04 kGy.h⁻¹ (elevada), bem como uma fonte de Cobalto-60 (Companhia Brasileira de Esterilização - CBE), produzindo taxa de dose de 0,32 kGy.h⁻¹ (baixa).

As amostras de CMSF foram dispostas no campo de irradiação de modo a minimizar diferenças na dose de radiação. A rotina dosimétrica foi realizada utilizando-se dosímetros Gammachrome YR Batch 63 (polimetilmetacrilato) para as irradiações no IPEN e dosímetros Harwell Perspex (polimetilmetacrilato) para as irradiações na CBE.

4.1.3 Composição Centesimal

A composição centesimal foi determinada para cada lote de amostra coletado nas visitas ao abatedouro. Foram realizadas análises envolvendo a determinação de umidade, de gordura, de proteína e de cinzas, conforme procedimentos da Association of Official Analytical Chemist (HORWITZ, 2000).

4.1.4 Análise de TBARS

A oxidação lipídica foi medida como valores de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), utilizando-se uma versão modificada do método de Tarladigs et al. (1960). A modificação foi a adição de butilato de hidroxitulueno, antes da etapa de homogeneização da amostra CMSF, a fim de prevenir a autooxidação, de acordo com as recomendações de Pikul et al. (1983). Os resultados serão expressos em mg Malonaldeído.kg⁻¹ CMSF.

4.1.5 Análise Microbiológica

A contagem total de bactérias psicrotróficas foi realizada inoculando-se 25g de cada amostra de CMSF em 225 ml de água peptonada tamponada como meio de enriquecimento. Após a homogeneização das amostras foram feitas diluições decimais e plaqueamento utilizando o meio 'Plate Count agar'. As placas foram incubadas à 7 °C por 10 dias e as unidades formadoras de colônias foram quantificadas (VANDERZANT; SPLITTSTOESSER, 1992). Os resultados foram expressos em Log (UFC).g⁻¹.

4.1.6 Análise Sensorial

Quinze julgadores foram recrutados de uma lista de panelistas treinados, que tinham participado anteriormente, por mais de 20 horas, em testes de análise descritiva em laboratório sensorial para produtos de carne. Dentre os panelistas recrutados, nove foram selecionados. Os critérios de recrutamento foram: idade entre 18 e 43, acuidade visual normal ou superior, o que foi verificado pelo Farnsworth Munsell 100 Hue Test, interesse e disponibilidade para avaliar a aparência, cor e odor da CMSF irradiada.

Após a pré seleção acima descrita os julgadores realizaram seis sessões de treinamento (45 min) já com amostras de CMSF não irradiadas, amostras irradiadas com dose de 3,0 kGy e amostras de referência (amostras de CMSF fresca e também aquelas refrigeradas, entre +2 °C por 3 dias) para o desenvolvimento de uma memória sensorial com relação a cada termo avaliado, durante o armazenamento refrigerado.

O método Grade serviu para preparar a lista de termos descritivos: as amostras de CMSF foram apresentadas aos pares para os julgadores listarem diferenças e semelhanças (MOSKOWITZ, 1983). Por consenso entre os julgadores, dos 10 atributos sensoriais inicialmente sugeridos (cor marrom, cor rosa da massa, proporções de cor marrom e rosa da massa, cor creme da gordura, brilho, homogeneidade da massa, quantidade de exsudato, odor de irradiado, odor de oxidado, odor de deteriorado), quatro foram escolhidos como melhores para discriminar as amostras: Odor de irradiado, odor de oxidado, cor rosa e cor marrom.

O cartão de escore foi preparado pelos julgadores usando uma escala de 10 cm não-estruturadas variando de 1 a 9, ancorada nas extremidades em termos de intensidade: 1 = leve, 9 = forte. As amostras de CMSF foram mantidas sob refrigeração (5 a 7 °C) até o momento da avaliação, e apresentadas para os julgadores. Uma equipe compreendendo de 5 a 9 pessoas realizou uma avaliação sensorial descritiva quantitativa.

As avaliações foram realizadas na Unidade Laboratorial de Referência em Análises Físicas, Sensoriais e Estatística (LAFISE) do Centro de Ciência e Qualidade de Alimento (CCQA), no Instituto de Tecnologia de Alimentos de Campinas (ITAL). A avaliação sensorial da aparência da amostra foi realizada em cabine de cor Macbeth com iluminação padrão D65 luz fluorescente. A avaliação sensorial dos odores foi realizada em cabines de testes individuais computadorizadas (Compusense Five, v. 4.2) em temperatura ambiente, como mencionado por Meillgaard et al. (1999).

As amostras de CMSF foram submetidas à análise sensorial embaladas em sacos de polietileno de baixa densidade, transparente, permeáveis ao oxigênio, a fim de avaliar a sua aparência: intensidade das cores marrom e rosa. Em seguida as amostras de CMSF foram embaladas e reabertas no momento de avaliação de odor: odor de irradiado e odor de oxidado. Os julgadores receberam as amostras em uma ordem equilibrada da apresentação, marcada com três dígitos aleatórios.

4.1.7 Análise de Cor

As medidas de cor objetiva foram realizadas nos dias: 0, 2, 4, 7, 9 e 11 de armazenamento refrigerado após irradiação, utilizando-se o espectrofotômetro MINOLTA (Japão) modelo CM-508d, para leitura dos parâmetros L^* (luminosidade), a^* (intensidade de vermelho/verde) e b^* (intensidade de amarelo/azul) fixadas as seguintes condições: iluminante D65, ângulo de visão: 8°, ângulo padrão do observador de 10°, componente especular incluído, conforme especificações CIE 1986 (Comission Internacional d'le Ecleraige – CIE Central Bureau, Kegelgasse 27, A-1030 Viena, Áustria). Foram analisadas três leituras por repetição, três repetições por amostra de cada tratamento, totalizando nove medidas por tratamento.

As análises realizadas foram segundo Horwitz (2000), exigidas pelo Ministério da Agricultura e Abastecimento, através da Instrução normativa nº 20, de 21 de julho de 1999, Métodos analíticos físico-químicos para controle de produtos cárneos e seus ingredientes, sal e salmoura.

4.1.8 Análise Estatística

Os resultados de oxidação lipídica foram analisados estatisticamente considerando-se a estrutura de covariância auto-regressiva de primeira ordem, com o uso do procedimento MIXED do programa estatístico SAS 9.1. Tal estrutura de covariância foi utilizada devido à presença de medidas repetidas. O mesmo permite ainda avaliar a homogeneidade das variâncias e ajustar para as covariâncias das amostras.

O modelo matemático incluiu os efeitos de tratamento, dias de coleta, a interação entre tratamento e dias de armazenamento, além do erro experimental. Os resultados são apresentados como médias ajustadas pelo método dos quadrados mínimos.

Para a variável bactérias psicrotóficas, o método dos quadrados mínimos considerando um desenho fatorial foi aplicado, neste caso o modelo matemático incluiu os efeitos de tratamento, dias de coleta e a interação tratamento x dias de armazenamento, além do erro experimental. Adicionalmente, análises de regressão em função do dia, quando a variável foi significativa ($P < 0,05$), foram realizadas.

O delineamento estatístico utilizado para os experimentos de análise sensorial foi o de blocos completos aleatorizados com relação aos julgadores. Para avaliar cada atributo nas amostras, foi utilizada escala estruturada de 10 cm, ancorada nos extremos esquerdos e direitos nos termos: pouco/muito odor/ cor.

A ANOVA foi construída com as fontes de variação tratamento, processamento e sua interação, para cada dia de avaliação. A ANOVA também foi construída para análise da cor objetiva das amostras sendo as fontes de variação: processamento, tratamento e sua interação. Posteriormente foram feitas análises de comparação pareada das médias dos tratamentos, sendo aplicado o teste de Tukey ($p < 0,05$). Os experimentos para análise sensorial foram repetidos três vezes.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS – Parte II

4.2.1 Delineamento Experimental

Amostras de dorso com pele de frango foram coletadas, para análises, em três visitas a um mesmo abatedouro. As amostras foram divididas em três lotes: controle (sem adição de antioxidantes), Mistura de antioxidante 1 (composto de Polifosfato de Sódio 0,3% e Eritorbato de Sódio 0,05%) e Mistura de antioxidante 2 (composto de Extrato de Alecrim 0,02% e α -Tocoferol 0,01%). A mistura de antioxidantes 2 foi obtida de DANISCO S/A (São Paulo, SP). Os 3 lotes de amostras foram divididos em 9 grupos: sem antioxidante e não irradiado (C), Com antioxidante 1 e não irradiado (A1), com antioxidante 2 e não irradiado (A2), sem antioxidante e irradiado na Fonte de Cobalto-60 (Co), sem antioxidante e irradiado na fonte de acelerador de elétrons (Ae), com antioxidante 1 e irradiado na fonte de Cobalto-60 (A1Co), com antioxidante 2 e irradiado na fonte de Cobalto-60 (A2Co), com antioxidante 1 e irradiado em acelerador de elétrons (A1Ae) e com antioxidante 2 e irradiado em acelerador de elétrons (A2Ae). Em seguida, cada unidade amostral de 100g foi acondicionada em saco de polietileno de baixa densidade, transparente, congelada a -18 ± 1 °C em túnel por uma noite e irradiadas. Foram utilizados dois diferentes tratamentos de irradiação, um com fonte de Cobalto-60 e um com acelerador de elétrons. Depois deste processo, as amostras foram armazenadas sobre refrigeração (2 ± 1 °C) e realizadas análises de oxidação lipídica (TBARS), contagem total de bactérias psicotróficas, análises sensorial e análise de cor por um período de 11 dias. As Análises de extração das proteínas miofibrilares, determinação da porcentagem de solubilidade proteica e índice de atividade de emulsificação foram realizadas após o processo de irradiação das amostras (Figura 5).

Figura 5 - Planejamento Experimental das formulações, irradiações e análises realizadas na Carne Mecanicamente Separada de Frango.

Fonte: Brito (2012).

4.2.2 Preparação das Amostras

Após a coleta das amostras de CMSF no abatedouro, as mesmas foram levadas para o Instituto de Tecnologia de Alimentos do Estado de São Paulo (ITAL), sendo processadas na planta piloto do Centro de Tecnologia de Carnes (CTC), em temperatura de 10 °C. As amostras foram divididas em 3 lotes e cada lote recebeu sua adição correspondente ao antioxidante pretendido para o estudo. Foi feita a homogeneização das amostras e após este processo as mesmas foram divididas e embaladas em sacos de polietileno, de baixa densidade, permeáveis ao oxigênio em unidades de 100 g, seguida de congelamento a -18 ± 1 °C (Figura 6).

Figura 6 - Sequência de preparação das amostras.

1- Homogeneização das amostras após a adição de antioxidantes. 2- Pesagem de 100 gramas de CMSF em sacos de polietileno de baixa densidade. 3- Apresentação final das amostras para serem irradiadas.

Fonte: Brito (2012).

4.2.3 Irradiação

Foram utilizadas dois diferentes tratamentos de radiação ionizante para irradiar as amostras de CMSF. Uma fonte de radiação gama proveniente do Cobalto-60 do tipo “multipropósito” (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN), obtendo-se uma dose média de 3,03 kGy, com taxa de dose de 3.1 kGy.h^{-1} ; e um acelerador de elétrons (IPEN), com energia de 1,5 MeV, largura do feixe de 100 cm e velocidade da bandeja de 6,72 m/min, obtendo-se uma dose média de 3,3 kGy e taxa de dose de $7,86 \text{ kGy.s}^{-1}$ na irradiação das amostras.

Figura 7 - Irradiador Multipropósito de Cobalto-60 – IPEN – SP.

Fonte: Brito (2012).

Figura 8 - Acelerador de Elétrons – IPEN – SP.

Fonte: Brito (2012).

As amostras de CMSF foram dispostas no campo de irradiação de modo a minimizar diferenças na dose de radiação. A rotina dosimétrica foi realizada utilizando-se dosímetros Amber 3042 Batch S – 603 nm para as irradiações na fonte de Cobalto-60 e dosímetros Grafcronic HD 810 foram utilizados para amostras de CMSf irradiadas no acelerador de elétrons. Durante ambos os processos de irradiação a temperatura de congelamento das amostras foi mantida com o uso de gelo seco (- 20 °C).

4.2.4 Composição Centesimal

A composição centesimal foi determinada para cada lote de amostra coletado nas três visitas ao abatedouro. Foram realizadas análises envolvendo a determinação de umidade, gordura, proteína e cinzas, conforme procedimentos da Association of Official Analytical Chemist (HORWITZ, 2000).

4.2.5 Análise de TBARS

A oxidação lipídica foi medida como valores de TBARS, utilizando-se uma versão modificada do método de Tarladigs et al. (1960). A modificação foi a adição de butilato de hidroxitolueno, antes da etapa de homogeneização da amostra CMSF, a fim de prevenir a autooxidação, de acordo com as recomendações de Pikul et al. (1983). Os valores de TBARS foram quantificados através da intensidade de fluorescência observada das amostras, usando curva padrão de malonaldeído (RABABAH et al., 2006) e os resultados foram expressos em mg Malonaldeído.kg⁻¹ CMSF.

4.2.6 Bactérias Psicrotróficas

A contagem total de bactérias psicrotróficas foi realizada inoculando-se 25 g de cada amostra de CMSF em 225 ml de água peptonada tamponada como meio de enriquecimento. Após a homogeneização foram feitas diluições decimais e plaqueamento utilizando-se o meio 'Plate Count agar'. As placas foram incubadas à 7 °C por 10 dias e as unidades formadoras de colônias foram contadas (VANDERZANT; SPLITTSTOESSER 1992). Os resultados foram expressos em Log (UFC).g⁻¹.

4.2.7 Análise Sensorial

Dezoito julgadores foram recrutados de uma lista de participantes em testes descritivos de odor de produtos alimentícios e fragrâncias, com mais de 60 h de avaliação e/ou treinamento e destes, quinze foram selecionados. Os critérios de

recrutamento foram: idade entre 18 e 50, acuidade visual normal ou superior, o que foi verificado pelo Farnsworth Munsell 100 Hue Test, serem consumidores de frango, interesse e disponibilidade para avaliar aparência, cor e odor da CMSF irradiada.

Os termos descritivos, para as amostras foram baseados naqueles descritos por Gomes et al. (2003a).

Os julgadores realizaram três sessões de treinamento com amostras não irradiadas, amostras irradiadas com dose de 3,0 kGy em fonte de Cobalto-60 e também irradiadas com a mesma dose em acelerador de elétrons, com e sem utilização de antioxidantes, mantidas nas condições a seguir: **1**-congeladas até 53 h antes do treinamento e a seguir mantidas a 25 °C até o horário de treinamento; **2**-amostras congeladas, mantidas sob refrigeração por 24 h, antes do treinamento, visando simular alterações durante o período de estocagem para o desenvolvimento de uma memória sensorial com relação aos termos descritivos e sua quantificação: cor rosea da carne, odor de oxidação (odor de produto de frango rançoso), odor de irradiado (odor de pena de galinha queimada/ pele queimada), e odor estranho (odor de deterioração). Conforme acordado pelos julgadores, esses atributos foram considerados aqueles que melhor discriminaram as amostras.

A análise sensorial foi realizada nas amostras de CMSF nas três repetições do experimento. Cada provador recebeu uma embalagem de cada produto para avaliar. Equipe treinada composta por 6 a 9 pessoas realizaram os testes quantitativos descritivos para a avaliação sensorial da CMS de frango procedente de cada tratamento avaliado no presente estudo.

As avaliações foram realizadas na Unidade Laboratorial de Referência em Análises Físicas, Sensoriais e Estatística (LAFISE) do Centro de Ciência e Qualidade de Alimento (CCQA), no Instituto de Tecnologia de Alimentos de Campinas (ITAL), em cabines individuais, informatizadas, com iluminação fluorescente que imita a luz do dia, a uma temperatura normal do ambiente, como mencionado por Meillgaard et al. (1999).

A escala de avaliação utilizada pelo painel de julgadores, constituiu-se de escala de 10 centímetros não-estruturada, ancorada nos extremos quanto à intensidade dos atributos avaliados: 1 = pouco e 9 = muito. As amostras de CMS de frango apresentadas para os julgadores foram mantidas sob refrigeração (15 °C) até

o momento da avaliação. Os dados foram coletados através do software Compusense Five, v. 4.8.

4.2.8 Análise de Cor

As medidas de cor objetiva foram realizadas nos dias: 0, 2, 4, 7, 9 e 11 após irradiação, utilizando-se o espectrofotômetro MINOLTA (Japão) modelo CM-508d, para leitura dos parâmetros L^* (luminosidade), a^* (intensidade de vermelho/verde) e b^* (intensidade de amarelo/azul) fixadas as seguintes condições: iluminante D65, ângulo de visão: 8°, ângulo padrão do observador de 10°, componente especular incluído, conforme especificações CIE 1986 (Comission Internacional d'le Ecleraige – CIE Central Bureau, Kegelgasse 27, A-1030 Viena, Áustria). Foram analisadas três leituras por repetição, três repetições por amostra de cada tratamento, totalizando nove medidas por tratamento.

As análises realizadas foram segundo Horwitz (2000), exigidas pelo Ministério da Agricultura e Abastecimento, através da Instrução normativa nº 20, de 21 de julho de 1999, Métodos analíticos físico-químicos para controle de produtos cárneos e seus ingredientes, sal e salmoura.

4.2.9 Propriedades Funcionais

4.2.9.1 *Determinação do pH*

O pH foi determinado de acordo com Foegeding (1987). Dez gramas de cada amostra foram homogeneizados com 50 mL de água destilada durante 1 minuto em agitador, com posterior leitura em peagâmetro, previamente calibrado.

4.2.9.2 *Extração de Proteínas Miofibrilares*

As proteínas miofibrilares foram isoladas de acordo com Pollonio (1994), com algumas modificações, descritas a seguir: Adicionou-se à CMSF 4 volumes de tampão fosfato de sódio 0,05 M contendo 0,1 M NaCl, pH 7,0 e homogenizou-se em liquidificador por 90 segundos.

As proteínas foram extraídas por 1 hora, sob refrigeração, utilizando-se agitador de velocidade variável. Em seguida, centrifugou-se a amostra a 6000 rpm por 20 minutos em temperatura de 2 a 4 °C. Descartou-se o sobrenadante (proteínas solúveis em água) e re-extraíu-se o resíduo com 4 volumes de tampão fosfato de sódio 0,05 M contendo 2,4 M NaCl, pH 7,0. Centrifugou-se a amostra a 6000 rpm por 20 minutos em temperatura de 2 a 4 °C. Descartou-se o sobrenadante (proteínas solúveis em água). Adicionou-se 1 volume de tampão fosfato de sódio 0,05 M contendo 0,6 M NaCl, pH 7,0 e extraíu-se como anteriormente por 1 hora. Centrifugou-se a 12000 rpm por 15 minutos em temperatura de 2 a 4 °C. Descartou-se o sedimento (proteínas insolúveis) e adicionou-se 5 volumes de água destilada gelada ao sobrenadante. Centrifugou-se a 12000 rpm por 15 minutos. Centrifugou-se o resíduo mais uma vez, se necessário. Dosou-se proteína pelo método semi-micro Kjeldahl para fazer os cálculos e quantificação da fração de proteínas miofibrilares.

As proteínas miofibrilares isoladas foram armazenadas a 0 °C e usadas para as análises posteriores dentro do prazo máximo 24-36 horas.

4.2.9.3 *Determinação de Porcentagem de Solubilidade Protéica*

Foi empregado o procedimento descrito por Xiong e Brekke (1989) com algumas modificações, descritas a seguir: Preparou-se acuradamente uma suspensão de proteínas miofibrilares contendo 5 mg/mL de proteína em tampão fosfato de sódio 0,05 M contendo 0,6 M NaCl, pH 7,0. Para evitar a formação de espuma, trabalhou-se sempre sob refrigeração.

Foi tomado 20 mL da suspensão de proteínas colocando-se em tubos de centrífuga em triplicata. Centrifugou-se a 6000 rpm por 20 minutos a 4 °C. Foi feita a medida do volume do sobrenadante e determinada a porcentagem de proteína do mesmo usando o método semi-micro Kjeldahl. A porcentagem da solubilidade protéica foi calculada pela seguinte fórmula:

$$\% \text{ solubilidade} = \frac{\text{Concentração de proteína no sobrenadante}}{\text{Concentração de proteínas nos 10 mL originais}} \times 100$$

4.2.9.4 *Índice de Atividade de Emulsificação (EAI)*

O índice de atividade de emulsificação foi determinado de acordo com Pearce e Kinsella (1978), com modificações sugeridas por Li-Chan et al. (1984), descritas a seguir: Preparou-se emulsão de proteínas miofibrilares com 6 mL de solução protéica a 1% em solução tampão 0,05 M fosfato de sódio, contendo 0,6 M NaCl, pH 7,0 e 2 mL de óleo vegetal. Homogeneizou-se em alta velocidade por 1 minuto. Tomaram-se alíquotas da emulsão fundo do recipiente, evitando-se espuma para efetuar diluição em série em soluções de SDS 0,3% (1 mL de emulsão em 9 mL de SDS 0,3%). A absorbância foi lida em comprimento de onda de 500 nm. Em seguida foram tomadas alíquotas de 1 mL de emulsão e da solução de proteína no tampão fosfato de sódio 0,05 M contendo 0,6 M NaCl para realizar secagem em estufa a 100-110 °C, até peso constante. O índice de atividade de emulsificação foi calculado de acordo com Li-Chan et al. (1984).

4.2.10 Análise Estatística

Para as variáveis oxidação lipídica, (TBARS), bactérias psicotróficas, sensorial (cor rósea, odor irradiado, odor de oxidado, odor estranho), funcional (pH, extração de proteínas miofibrilares, solubilidade proteica e índice de atividade de emulsão), por se tratar de medidas repetidas, a matriz de correlação que melhor se ajustou à estrutura de cada variável foi utilizada, consideraram-se os efeitos fixos de antioxidantes, fonte e dias, e todas as interações, e como aleatórios os efeitos de bloco e variâncias residuais heterogêneas com distribuição normal sob abordagem de modelos lineares mistos. As interações foram desdobradas e os testes de comparações de médias (Tukey-Kramer) aplicados quando $P < 0,05$.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Resultados e discussão – Parte I

5.1.1 Composição Centesimal

A composição centesimal média da CMSF analisada no presente estudo foi: $64,2 \pm 0,3\%$ de umidade; $13,2 \pm 0,3\%$ de proteína; $22,9 \pm 0,4\%$ de gordura; $1,0 \pm 0,1\%$ de cinzas. Observa-se que o produto contém baixo teor protéico e alto teor de gordura quando comparado com análises realizadas em frango inteiro que apresenta em média: 16,4% proteína e 17,3% de gordura, conforme Núcleo de estudos e pesquisa em alimentação, 2006.

A CMS é composta de tecidos musculares, adiposos e conectivos e de acordo com diferentes autores, a composição centesimal pode variar de 59,9 a 70,15% de umidade, 12,45 a 15,2% de proteína, 15 a 22,5% de gordura e 1,0 a 2,1 % de fração cinza (CONTRERAS-CASTILLO; TRINDADE; FELÍCIO, 2008; GOMES et al., 2003a; POLLONIO, 1994).

5.1.2 Análise de TBARS

Os valores médios iniciais (D0) de TBARS para as amostras de CMSF controle, amostras irradiadas com taxa de dose de $0,32 \text{ kGy.h}^{-1}$ e amostras irradiadas com taxa de dose de $4,04 \text{ kGy.h}^{-1}$ foram respectivamente, $0,25 \pm 0,85 \text{ mg Mal.kg}^{-1}$ CMSF, $0,52 \pm 0,85 \text{ mg Mal.kg}^{-1}$ CMSF e $0,62 \pm 0,85 \text{ mg Mal.kg}^{-1}$ CMSF. Os trabalhos de Gomes et al. (2003a, 2006), relataram menores valores de TBARS no D0 (valor médio de $0,39 \text{ mg malonaldeído.kg}^{-1}$ CMSF) em CMSF irradiada com dose de 3,0 kGy. Nestes trabalhos foi utilizada a CMSF produzida a partir de dorso de frango sem pele, apresentando menor porcentagem de gordura (19,1%) quando comparada às amostras de CMSF utilizadas no presente estudo (22,9%).

De acordo com a Figura 9, é possível verificar que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) para os valores de TBARS, quando comparadas amostras irradiadas e controle, até o 4º dia de armazenamento refrigerado. Por outro lado, Gomes et al. (2003a) encontraram diferença significativa ($p < 0,05$) entre as

amostras de CMSF não irradiadas e irradiadas com dose de 3,0 kGy já no 4º dia de armazenamento refrigerado. Diferenças no processamento incluindo a linhagem de ave, alimentação e a produção da CMSF podem interferir nos resultados obtidos.

Após o 7º dia de armazenamento refrigerado as amostras irradiadas apresentaram aumento nos valores de TBARS ($p < 0,05$), quando comparadas às amostras controle. Os valores médios de TBARS observados no 7º dia de armazenamento refrigerado foram $0,31 \pm 0,85$ mg Mal.kg⁻¹, $5,42 \pm 0,85$ mgMal.kg⁻¹ CMSF, CMSF e $4,48 \pm 0,85$ mgMal.kg⁻¹ CMSF, respectivamente, para amostras controle, irradiadas com taxa de dose de $0,32$ kGy.h⁻¹ e taxa de dose de $4,04$ kGy.h⁻¹. Tais resultados indicaram efeito ($p < 0,05$) da dose de radiação ionizante sobre a oxidação lipídica da CMSF, a partir de D7.

Figura 9 - Valores médios de TBARS em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado (2 ± 1 °C).

O dia zero de armazenamento refere-se ao primeiro dia de análise após a irradiação da CMSF. As análises foram realizadas em triplicatas. As barras verticais representam os valores do erro padrão. * $p < 0,05$. $n = 3$.

Fonte: Brito (2012).

5.1.3 Análise Microbiológica

Os valores médios de bactérias psicotróficas obtidos para amostras controle e irradiadas com taxa de dose de $0,32 \text{ kGy.h}^{-1}$ e $4,04 \text{ kGy.h}^{-1}$, entre o 2º e 11º dias de armazenamento refrigerado foram, respectivamente, $8,17 \pm 0,56 \log (\text{UFC}).\text{g}^{-1}$, $3,94 \pm 0,56 \log (\text{UFC}).\text{g}^{-1}$ e $3,61 \pm 0,56 \log (\text{UFC}).\text{g}^{-1}$. Estes resultados mostraram o efeito significativo ($p < 0,05$) da dose de radiação ionizante sobre a diminuição da contagem microbiana.

Resultados semelhantes também foram encontrados em outros estudos (GOMES et al., 2003a; GOMES; SILVA, 2006; JAVANMARD et al., 2006; YILDIRIM et al., 2005). Verificou-se que não houve diferença estatística ($p > 0,05$) entre os valores de bactérias psicotróficas obtidos para amostras de CMSF irradiadas com taxa de dose de $0,32 \text{ kGy.h}^{-1}$ e $4,04 \text{ kGy.h}^{-1}$.

A Tabela 1 mostra que as amostras de CMSF irradiadas com taxa de dose de $0,32 \text{ kGy.h}^{-1}$ e $4,04 \text{ kGy.h}^{-1}$ não apresentaram redução significativa ($p > 0,05$) nos valores de bactérias psicotróficas apenas no dia zero de armazenamento refrigerado, quando os resultados foram comparados àqueles obtidos em amostras controle.

Para amostras de CMSF irradiadas com taxa de dose de $0,32 \text{ kGy.h}^{-1}$ e $4,04 \text{ kGy.h}^{-1}$ não houve diferença significativa ($p > 0,05$) no valor de bactérias psicotróficas, quando comparadas entre si, durante o período de armazenamento refrigerado.

Tabela 1 - Valores médios de bactérias psicotróficas em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado (2 ± 1 °C).

Armazenamento (dias)	log (ufc).g ⁻¹ ± EP		
	0,0 kGy	3,0 kGy – 0,32 kGy.h ⁻¹	3,0 kGy – 4,04 kGy.h ⁻¹
0	2,87 ± 0,56 ^{Aa}	2,98 ± 0,56 ^{Aa}	2,10 ± 0,56 ^{Aa}
2	4,59 ± 0,56 ^{Ba}	2,80 ± 0,56 ^{Ab}	2,39 ± 0,56 ^{Ab}
4	4,90 ± 0,56 ^{Ba}	3,27 ± 0,56 ^{Ab}	2,10 ± 0,56 ^{Ab}
7	8,74 ± 0,56 ^{Ca}	4,22 ± 0,56 ^{Ab}	4,11 ± 0,56 ^{Bb}
9	11,02 ± 0,56 ^{Da}	4,33 ± 0,56 ^{Ab}	4,80 ± 0,56 ^{Bb}
11	11,61 ± 0,56 ^{Da}	5,10 ± 0,56 ^{Ab}	4,64 ± 0,56 ^{Bb}

O dia zero de armazenamento refere-se ao primeiro dia de análise após a irradiação da CMSF. Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna ou letras minúsculas diferentes na mesma linha, existe diferença significativa ($p < 0,05$). $n = 3$.

Fonte: Brito (2012).

Nas amostras controle, houve aumento ($p < 0,05$) de bactérias psicotróficas a partir do 2º dia de armazenamento refrigerado, e foi intensificado ($p < 0,05$) no 7º e 9º dia, evidenciando a rápida deterioração do produto sem processamento.

Por outro lado, para amostras de CMSF irradiadas com taxa de dose de 0,32 kGy.h⁻¹, não foi observado aumento significativo de bactérias psicotróficas ($p > 0,05$) durante o período de armazenamento refrigerado, enquanto que para as amostras de CMSF irradiadas com taxa de dose de 4,04 kGy.h⁻¹, houve aumento significativo de bactérias psicotróficas ($p < 0,05$), a partir do 7º dia de armazenamento refrigerado.

5.1.4 Análise Sensorial

Para todos os períodos de armazenamento refrigerado avaliados na análise sensorial, as amostras controle, em relação às amostras irradiadas com taxa de dose de 0,32 k Gy.h⁻¹ e 4,04 Gy.h⁻¹, foram percebidas com menor intensidade de odor de irradiado (pena ou pelo queimado) (0,2 a 2,0; 4,4 a 7,0; 2,9 a 7,1, respectivamente), odor oxidado (ranço) (0,6 a 4,4; 4,3 a 6,7; 1,6 a 6,9, respectivamente) e cor marrom (1,2 a 7,5; 1,6 a 8,3; 2,9 a 7,1, respectivamente). Por

outro lado, para cor rósea, a intensidade percebida foi maior em amostras controle do que aquelas percebidas em amostras irradiadas (1,0 a 6,9; 1,5 a 4,2; 1,3 a 5,3, respectivamente), durante a maior parte do período de armazenamento refrigerado. Resultados similares também foram encontrados em outros estudos (LEE; AHN, 2005; MIYAGUSKU; LEITÃO; BAFFA, 2003).

Em relação à percepção do odor de irradiado (Figura 10) houve efeito significativo ($p < 0,05$) entre as amostras irradiadas no dia 0 de armazenamento refrigerado. No atributo odor de oxidado (Figura 10), as amostras irradiadas com taxa de dose de $0,32 \text{ kGy.h}^{-1}$ apresentaram maior intensidade e foram diferentes significativamente ($p < 0,05$) em relação às amostras irradiadas com taxa de dose de $4,04 \text{ kGy.h}^{-1}$ nos dias 0 e 2 de armazenamento refrigerado. O complexo processo de oxidação de lipídios das amostras armazenadas, bem como o processo lento de irradiação possivelmente contribuíram para essa percepção. Os voláteis responsáveis pelos odores residuais em carnes irradiadas são os compostos contendo enxofre, como dissulfeto dimetil entre outros, gerados da degradação radiolítica dos amino-ácidos sulfurados. Estes posteriormente se volatilizam em condições aeróbicas e inicia-se o processo oxidativo, tanto pelas reações de auto-oxidação lipídica pela formação de ROS (AHN, 2003; SHAHIDI, 1998).

Ao final do período de armazenamento, ácidos graxos livres produzidos pela ação microbiológica também podem ter contribuído para o odor de oxidado (LAWRIE, 1998) percebido nas amostras, especialmente na amostra controle.

Figura 10 - Valores médios para o atributo sensorial odor de oxidado e odor de irradiado em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado (2 ± 1 °C).

O dia zero de armazenamento refere-se ao primeiro dia de análise após a irradiação da CMSF. As linhas verticais indicam o desvio padrão. * $p < 0,05$. ** Valor médio significativamente diferente do encontrado para 0,0 kGy e 0,32 kGy.h⁻¹ ($p < 0,05$). $n = 3$.
Fonte: Brito (2012).

Em relação aos parâmetros avaliados para cor foi possível perceber diferenças significativas ($p < 0,05$) entre amostras de CMSF irradiadas com diferentes doses e taxas de dose, durante o período de armazenamento refrigerado estudado (Figura 11).

Quanto à percepção das cores marrom e rósea avaliadas neste estudo, verificou-se diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as amostras irradiadas, nos dias 0 e 2 de armazenamento refrigerado.

Menor intensidade ($p < 0,05$) de coloração rosada foi percebida nos dois primeiros dias de armazenamento, para as amostras irradiadas com taxa de dose de 0,32 kGy.h⁻¹, podendo indicar, assim como na percepção de odor, efeito do processo mais lento de irradiação.

Variações na cor da gordura ocorrem como resultado da oxidação de beta caroteno presente na gordura da carne devido à suscetibilidade ao ataque

radiolítico. Na presença de oxigênio, os efeitos do processo de irradiação poderão ser acelerados através de uma ou mais das seguintes reações: formação de radicais livres, que podem combinar-se com oxigênio para a formação de hidroperóxidos, quebra de hidroperóxidos, originando diversos produtos de decomposição, particularmente compostos carbonílicos, e destruição de antioxidantes (NAWAR, 1996).

Figura 11 - Valores médios para o atributo sensorial cor rósea e cor marrom em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado (2 ± 1 °C).

O dia zero de armazenamento refere-se ao primeiro dia de análise após a irradiação da CMSF. As linhas verticais indicam o desvio padrão. * $p < 0,05$. ** Valor médio significativamente diferente do encontrado para 0,0 kGy e 0,32 kGy.h⁻¹ ($p < 0,05$). $n = 3$.
Fonte: Brito (2012).

5.1.5 Análise de Cor

Em relação aos parâmetros avaliados para cor objetiva (L^* , a^* e b^*) houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre amostras irradiadas e controle. Para amostras de CMSF irradiadas com diferentes taxas de dose de radiação ionizante, houve

diferença significativa ($p < 0,05$) somente em alguns dias do armazenamento refrigerado, descritos abaixo.

Na Tabela 2, estão apresentados os valores referentes à análise de cor para L^* , a^* e b^* . As amostras irradiadas com taxa de dose de $0,32 \text{ kGy.h}^{-1}$ apresentaram menores valores ($p < 0,05$) para o parâmetro L^* , no 7º dia de armazenamento refrigerado, quando comparadas às amostras irradiadas com taxa de dose de $4,04 \text{ kGy.h}^{-1}$ e as amostras controle. Não houve diferença estatística ($p > 0,05$) para L^* , entre as amostras irradiadas com taxa de dose de $4,04 \text{ kGy.h}^{-1}$ e amostras controle, durante o armazenamento refrigerado.

Quanto ao parâmetro a^* , as amostras irradiadas apresentaram menores valores ($p < 0,05$) do que as amostras controle, somente no período inicial do armazenamento refrigerado (D0 e D4) e quanto ao parâmetro b^* , somente houve diferença estatística ($p > 0,05$) entre as amostras irradiadas e as amostras controle no primeiro dia de armazenamento refrigerado (D0).

Tabela 2 - Resultados dos valores médios de Luminosidade (L^*), intensidade de vermelho (a^*) e intensidade de amarelo (b^*) obtidos em amostras de CMSF não irradiadas, irradiadas com taxa de dose de 4,04 kGy.h⁻¹ e taxa de dose de 0,32 kGy.h⁻¹, ao longo do armazenamento refrigerado.

Armazenamento (dias)	Taxa de dose (kGy.h ⁻¹)	$L^* \pm DP$	$a^* \pm DP$	$b^* \pm DP$
0	0,0	50,20 $\pm$ 2,77 ^a	13,31 $\pm$ 1,83 ^a	13,77 $\pm$ 1,96 ^a
0	0,32	49,45 $\pm$ 3,13 ^a	11,53 $\pm$ 1,72 ^b	11,85 $\pm$ 1,81 ^b
0	4,04	50,94 $\pm$ 2,53 ^a	11,40 $\pm$ 1,65 ^b	12,29 $\pm$ 2,30 ^b
4	0,0	51,33 $\pm$ 2,51 ^a	11,48 $\pm$ 2,31 ^a	10,93 $\pm$ 1,43 ^a
4	0,32	51,11 $\pm$ 2,34 ^a	9,26 $\pm$ 1,07 ^b	9,55 $\pm$ 1,52 ^b
4	4,04	52,13 $\pm$ 2,60 ^a	10,95 $\pm$ 1,38 ^a	10,49 $\pm$ 2,45 ^{ab}
7	0,0	50,43 $\pm$ 2,29 ^a	10,31 $\pm$ 1,75 ^a	9,75 $\pm$ 2,05 ^a
7	0,32	48,77 $\pm$ 2,07 ^b	10,28 $\pm$ 1,44 ^a	10,45 $\pm$ 1,33 ^a
7	4,04	50,98 $\pm$ 2,62 ^a	9,75 $\pm$ 1,69 ^a	9,99 $\pm$ 2,14 ^a
11	0,0	49,89 $\pm$ 3,22 ^a	9,92 $\pm$ 2,46 ^a	10,75 $\pm$ 2,69 ^a
11	0,32	50,94 $\pm$ 2,00 ^a	9,02 $\pm$ 1,27 ^a	11,39 $\pm$ 1,67 ^a
11	4,04	50,13 $\pm$ 3,31 ^a	9,86 $\pm$ 1,65 ^a	11,28 $\pm$ 1,77 ^a

Letras diferentes para a mesma coluna e para o mesmo dia, existe diferença significativa entre os tratamentos ($p < 0,05$); DP = desvio padrão. $n = 3$

Fonte: Brito (2012).

A mudança de cor no alimento irradiado armazenado sob refrigeração ocorre devido à susceptibilidade da molécula de mioglobina, especialmente do ferro, em mudar de estado com as alterações químicas e a entrada de energia (BREWER, 2004).

A geração de pigmentos vermelhos ou pigmentos marrons que aparecem ao final do processo podem ser explicados com a formação de ROS, gerados com a irradiação, formando ferrilmioglobina e gases como o monóxido de carbono (BREWER, 2004).

Gomes et al. (2003a) não encontraram diferenças significativas ($p > 0,05$) entre as amostras de CMSF não irradiadas e irradiadas com dose de 3,0 KGy e 4,0 KGy, para os atributos L^* e b^* da análise de cor. Quanto ao atributo a^* , estes mesmos

autores encontraram diferença significativa ($p < 0,05$) entre amostras controle e irradiadas, a partir do 4º dia de armazenamento refrigerado, sendo estes valores menores para as amostras controle.

Lee e Ahn (2005) realizaram estudos com peito de peru irradiado e não irradiado e encontraram diferenças significativas entre as amostras irradiadas com dose de 3,0 kGy e as amostras não irradiadas para os resultados dos atributos L^* , a^* e b^* , no armazenamento refrigerado.

Os resultados controversos existentes entre o presente estudo e pesquisas realizadas por outros autores pode ser explicado pela diferença entre as amostras, já que neste trabalho utilizou-se CMSF de frango com pele, sendo esta uma matéria-prima com alto teor de gordura, ou seja, estando mais propícia ao processo de oxidação e consequentemente a alterações de cor.

5.2 Resultados e Discussão – Parte II

5.2.1 Composição Centesimal

A composição centesimal média da CMSF coletada nas três visitas ao abatedouro foi: $64,06 \pm 0,48\%$ de umidade; $12,2 \pm 0,4\%$ de proteína; $22,5 \pm 0,5\%$ de gordura; $1,58 \pm 0,1\%$ de cinzas (HORWITZ, 2000).

Estes resultados estão de acordo com valores de composição centesimal encontrados para este produto na literatura (BRITO et al., 2011; CONTRERAS-CASTILLO; TRINDADE; FELÍCIO, 2008; GOMES et al., 2003a; POLÔNIO, 1994).

5.2.2 Análise de TBARS

Os resultados de oxidação lipídica apresentados na Figura 12 mostram o efeito protetor significativo ($p < 0,05$) da mistura de antioxidante alecrim e α -tocoferol nas amostras de CMSF irradiadas na fonte de Cobalto-60 e Acelerador de elétrons (Figura 12B), ao longo do armazenamento refrigerado.

Estes resultados estão de acordo com aqueles encontrados em estudos que usaram alecrim e α -tocoferol em combinações diversas, como prevenção da oxidação lipídica causada pelo processo de irradiação, em diferentes tipos de carne

(AHN; GRÜN; FERNANDO, 2002; ISMAIL; LEE; AHN, 2008, LEE; LOVE; AHN, 2003; MOHAMED et al., 2011; MANCINI-FILHO; TRINDADE; VILLAVICENCIO; 2009, 2010).

Alterações químicas ocorrem durante o processo de irradiação incluindo a produção de compostos voláteis e formação ROS que são catalizadores da oxidação lipídica em carnes (SHAHIDI, 1998). Esse fenômeno é ainda mais importante quando os produtos cárneos contêm ácidos graxos insaturados. A gordura da CMSF é rica em ácidos graxos poliinsaturados, devido à presença de fosfolipídios originários da fração óssea e medula espinhal que o acompanham. A presença de ferro-heme da mesma origem catalisa esse processo de oxidação (PAQUIN, 1985; POLLONIO, 1994).

Segundo Mohamed e Mansour (2012) a CMSF é uma excelente matéria prima, mas apresenta um alto potencial de oxidação o que acaba limitando o seu uso em produtos processados. Portanto, tratamentos para estabilizar a oxidação lipídica são urgentemente necessários.

De acordo com Lacroix et al. (1997) em seu estudo da prevenção da radiólise lipídica por antioxidantes naturais, o uso de antioxidantes alecrim e tomilho tiveram efeito protetor nos ácidos graxos poliinsaturados, ácido linoleico e ácido aracdônico, contra os efeitos da radiólise induzida em amostras irradiadas com dose de 3 e 9 kGy, em atmosfera com ar.

As amostras sem antioxidante e não irradiadas (C) apresentaram valor médio de TBARS de $2,86 \pm 1,65$ mg Mal.kg⁻¹ no 4º dia de armazenamento. Após este dia os valores de TBARS tiveram um aumento significativo ($p < 0,05$), com valor médio registrado de $8,00 \pm 1,25$ mg Mal.kg⁻¹ no 7º dia, demonstrando que as amostras já apresentavam elevado potencial de oxidação inicialmente, sendo agravado ao longo do período de armazenamento refrigerado (Figura 12A e B).

Pollonio (1994) verificou que a CMSF com pele, sem a adição de qualquer ingrediente apresentou tendência ligeiramente maior à oxidação lipídica que o respectivo material sem pele.

Os resultados de TBARS obtidos para as amostras adicionadas de antioxidantes e não irradiadas, ou seja, A1 e A2, mostraram que foi possível manter a vida útil da CMSF até o 11º dia de armazenamento refrigerado, sendo o valor médio de TBARS registrado para este dia, respectivamente, de $2,9 \pm 4,18$ mg

Mal.kg⁻¹ e $3,14 \pm 4,18$ mg Mal.kg⁻¹ (Figura 12A e B). Além disso, não foi registrado aumento significativo de TBARS ao longo de todo o armazenamento refrigerado para estas amostras, contribuindo para demonstrar o efeito protetor destas substâncias antioxidantes sobre a oxidação lipídica da CMSF (Tabela 3).

Produtos cárneos tais como a carne de frango ou salsichas contendo CMSF em sua formulação, têm sido considerados aceitáveis sensorialmente quando os valores de TBARS atingem 4,34 e 4,77 mg Mal.kg⁻¹ de amostra, respectivamente (KANNATT et al., 1998; LEE et al., 1997).

A mistura de antioxidante polifosfato de sódio e eritorbato de sódio não se mostrou eficiente na redução da oxidação lipídica das amostras de CMSF irradiadas, ou seja, amostras A1Co e A1Ae, sendo que estas amostras apresentaram no 4º dia de armazenamento refrigerado, valores médios de TBARS de $11,33 \pm 1,64$ mg Mal.kg⁻¹ e $9,56 \pm 1,64$ mg Mal.kg⁻¹, respectivamente (Figura 13A). Estes valores de TBARS foram similares a aqueles registrados para as amostras de CMSF sem adição de antioxidante e irradiadas na Fonte de Cobalto-60 (Co) e acelerador de elétrons (Ae) ($p > 0,05$), como mostra a Figura 12A.

Amostras sem a adição de antioxidantes e irradiadas na fonte de cobalto-60 (Co) e acelerador de elétrons (Ae) apresentaram o primeiro aumento significativo nos valores de TBARS em D4, o que também aconteceu, para as amostras que receberam adição de antioxidantes 1 e foram irradiadas, A1Co e A1Ae. Por outro lado, as amostras adicionadas da mistura de antioxidante 2 e irradiadas em Cobalto-60 e acelerador de elétrons e, ou seja, A2Co e A2Ae, mostraram-se mais estáveis ao longo do armazenamento refrigerado, de modo que o primeiro aumento significativo ($p < 0,05$) nos valores de TBARS, somente foram registrados respectivamente em D9 e D7.

Figura 12 - Valores médios de TBARS em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado.

O dia zero de armazenamento refere-se ao primeiro dia de análise após a irradiação da CMSF. **A**- Amostras adicionadas da mistura de antioxidantes 1. **B**- Amostras adicionadas da mistura de antioxidantes 2. As linhas verticais indicam o desvio padrão. Amostra sem antioxidante e não irradiado (C), Com antioxidante 1 e não irradiado (A1), com antioxidante 2 e não irradiado (A2), sem antioxidante e irradiado na Fonte de Cobalto-60 (Co), sem antioxidante e irradiado na fonte de acelerador de elétrons (Ae), com antioxidante 1 e irradiado na fonte de Cobalto-60 (A1Co), com antioxidante 2 e irradiado na fonte de Cobalto-60 (A2Co), com antioxidante 1 e irradiado em acelerador de elétrons (A1Ae) e com antioxidante 2 e irradiado em acelerador de elétrons (A2Ae). * $p < 0,05$. *, ** ou *** valores significativamente ($p < 0,05$) diferentes. $n = 3$.

Fonte: Brito (2012).

Dentre as amostras adicionadas de antioxidante e irradiadas, as amostras adicionadas de antioxidante 2 e irradiadas com cobalto-60 (A2Co) foram as únicas que praticamente não apresentaram um aumento significativo ($p > 0,05$), excetuando-se o aumento significativo detectado em D9, nos valores de TBARS ao longo do armazenamento refrigerado; apresentando também o menor valor médio de TBARS em D11, ou seja, 8,41 mg Mal.kg⁻¹ CMSF. Em seguida, as amostras adicionadas de antioxidante 2 e irradiadas (A2Ae) foram aquelas que apresentaram maior estabilidade nos valores de TBARS, de modo que o primeiro aumento significativo ($p < 0,05$) foi registrado em D7 apresentaram também o segundo menor valor médio de TBARS em D11 dentre as amostras irradiadas, ou seja, 9,29 mg Mal.kg⁻¹ CMSF (Tabela 3).

Sendo assim, dentre as misturas de antioxidantes testadas, pode-se inferir que independente da fonte de radiação (cobalto/baixa taxa de dose e acelerador de elétrons/elevada taxa de dose), a mistura de antioxidante 2 permitiu uma maior proteção a CMSF quanto à oxidação lipídica, ao longo do armazenamento refrigerado. Os resultados indicaram que não houve efeito da fonte de radiação ionizante sobre o aumento de valores de TBARS ao longo do armazenamento refrigerado e sim da mistura de antioxidantes testadas.

Ismail, Lee e Ahn (2008) analisaram o efeito do tempo de armazenamento na oxidação lipídica de carne moída irradiada com dose de 2,5 kGy, adicionada ou não de antioxidantes (α -tocoferol, ácido ascórbico e gergelim) armazenada por 7 dias em temperatura de refrigeração e não encontraram diferenças significativas entre os dias de armazenamento, para as amostras controle e irradiadas. Neste trabalho as amostras controle sem irradiar apresentaram no 7º dia de armazenamento valores de TBARS (1,18 mg Mal.kg⁻¹) muito menores do que aqueles registrados no presente estudo. Entretanto, tratando-se de um produto de carne de bovino, com menor teor de gordura na composição, quando comparado à CMSF, certamente esteve menos propenso à oxidação.

Tabela 3 - Valores médios de TBARS (mg Mal.kg⁻¹ CMSF $\pm$ erro padrão) em amostras de CMSF, irradiadas ou não, adicionadas ou não de antioxidantes, ao longo do armazenamento refrigerado (2 ± 1 °C).

	C	A1	A2	Co	Ae	A1Co	A2Co	A1Ae	A2Ae
D0	0,32 $\pm$ 1,02 Aa	0,21 $\pm$ 1,02 Aab	0,14 $\pm$ 1,02 Aa	1,97 $\pm$ 1,02 Ac	1,27 $\pm$ 1,02 Aac	1,08 $\pm$ 1,02 Aa	0,39 $\pm$ 1,02 Aa	0,5 $\pm$ 1,02 Aa	0,8 $\pm$ 1,02 Aac
D2	0,71 $\pm$ 0,92 Abc	0,21 $\pm$ 0,92 Ab	0,16 $\pm$ 0,92 Abc	5,88 $\pm$ 0,92 Aa	4,75 $\pm$ 0,92 Aa	3,91 $\pm$ 0,92 Aa	0,56 $\pm$ 0,92 Abc	3,68 $\pm$ 0,92 Aac	1,10 $\pm$ 0,92 ABCc
D4	2,86 $\pm$ 1,64 ACb	0,26 $\pm$ 1,64 Ab	0,23 $\pm$ 1,64 Ab	11,08 $\pm$ 1,64 Ba	9,3 $\pm$ 1,64 Ba	11,33 $\pm$ 1,64 Ba	1,83 $\pm$ 1,64 Ab	9,56 $\pm$ 1,64 Ba	1,39 $\pm$ 1,64 ABc
D7	8,00 $\pm$ 1,25 Bbc	0,64 $\pm$ 1,25 Ad	1,07 $\pm$ 1,25 Aade	17,49 $\pm$ 1,25 Ca	15,96 $\pm$ 1,25 Ca	18,04 $\pm$ 1,25 Ca	4,56 $\pm$ 1,25 Abc	15,13 $\pm$ 1,25 Ca	4,96 $\pm$ 1,25 BCc
D9	11,56 $\pm$ 2,5 Bd	2,21 $\pm$ 2,05 Abe	2,39 $\pm$ 2,05 Abc	18,62 $\pm$ 2,05 Cae	19,37 $\pm$ 2,05 Ce	19,29 $\pm$ 2,05B Cacde	5,82 $\pm$ 2,05 Bbce	16,79 $\pm$ 2,05 Cacde	7,79 $\pm$ 2,05 Ccde
D11	10,47 $\pm$ 4,18 BCab	2,9 $\pm$ 4,18 Ab	3,14 $\pm$ 4,18 Ab	36,07 $\pm$ 4,18 Dc	19,16 $\pm$ 4,18 Ca	19,78 $\pm$ 4,18B Ca	8,41 $\pm$ 4,18 Aab	19,3 $\pm$ 4,18 Ca	9,29 $\pm$ 4,18 ACab

O dia zero de armazenamento refere-se ao primeiro dia de análise após a irradiação da CMSF. Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna ou letras minúsculas diferentes na mesma linha, existe diferença significativa ($p < 0,05$). $n = 3$.

Fonte: Brito (2012).

Não foram encontradas diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os resultados de TBARS obtidos para amostras de CMSF irradiadas em fonte de cobalto-60 (Co, A1Co e A2Co) e acelerador de elétrons (Ae, A1Ae e A2Ae), testadas neste estudo, para nenhum dos tratamentos, seja adicionado ou não de antioxidantes.

Estes resultados estão de acordo com o trabalho de Park et al. (2010) que estudaram efeito da irradiação com fontes de Cobalto-60 e acelerador de elétrons sobre a qualidade, as populações de bactérias e atributos sensoriais de pastéis de salsicha. Neste estudo de Park et al. (2010), os valores de TBARS das amostras foram aumentados pela irradiação, mas não foram encontradas diferenças significativas entre os resultados obtidos nas diferentes fontes de radiação utilizadas.

5.2.3 Análise Microbiológica

Os valores médios de bactérias psicotróficas obtidos para as amostras sem antioxidante e não irradiadas (C), as amostras sem adição de antioxidantes e irradiadas na fonte de cobalto-60 (Co) e as amostras sem adição de antioxidantes e irradiadas em acelerador de elétrons (Ae), ao longo do armazenamento refrigerado foram, respectivamente, $5,96 \pm 0,18 \log (\text{UFC}).\text{g}^{-1}$, $5,65 \pm 0,21 \log (\text{UFC}).\text{g}^{-1}$, $5,39 \pm 0,28 \log (\text{UFC}).\text{g}^{-1}$. Amostras de CMSF irradiadas sem a adição de antioxidantes, ou seja, Co e Ae não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$) em relação aos valores de bactérias psicotróficas, quando comparados valores recíprocos ao longo do armazenamento refrigerado.

Por outro lado, quando os resultados das amostras sem adição de antioxidante e irradiadas na fonte de cobalto-60 (Co) e os resultados observados para as amostras sem adição de antioxidante e irradiadas em acelerador de elétrons (Ae) foram comparados com aqueles registrados em amostras sem antioxidante e não irradiadas (C), outros efeitos foram verificados.

As amostras sem adição de antioxidante e irradiadas na fonte de cobalto-60 (Co) apresentaram uma diminuição significativa ($p < 0,05$) na contagem de bactérias psicotróficas, nos dias 0 e 4 de armazenamento refrigerado quando comparadas as amostras sem antioxidante e não irradiadas (C). As amostras sem adição de antioxidantes e irradiadas na fonte de acelerador de elétrons (Ae) apresentaram uma redução significativa ($p < 0,05$) na contagem de bactérias psicotróficas nos dias 0,

2, 4 e 9 de armazenamento refrigerado quando comparada a amostras sem antioxidante e não irradiadas (C). Comparativamente, tais resultados sugeriram maior efeito do processo de irradiação em amostras de CMSF não adicionadas de antioxidantes e irradiadas em acelerador de elétrons (elevada taxa de dose de radiação), na redução de bactérias psicrotróficas, ao longo do armazenamento refrigerado.

Os resultados mostraram que não foram encontradas diferenças significativas ($p < 0,05$) para os valores de bactérias psicrotróficas, comparando-se os resultados obtidos em amostras adicionadas de antioxidantes 1 sem irradiar (A1) ou amostras adicionadas de antioxidantes 2 sem irradiar (A2) e as amostras sem antioxidante e não irradiadas (C) (Figura 13). Tais resultados mostraram que a adição de antioxidantes sem a presença do processo de irradiação não foi capaz de atuar na redução da contagem de bactérias psicrotróficas.

Figura 13 - Valores médios de bactérias psicrotróficas em amostras de CMSF, adicionadas de antioxidantes 1 ou 2 sem irradiar, ao longo do armazenamento refrigerado.

O dia zero de armazenamento refere-se ao primeiro dia de análise após a irradiação da CMSF. Amostra sem antioxidante e não irradiado (C), Com antioxidante 1 e não irradiado (A1), com antioxidante 2 e não irradiado (A2). $n = 3$.

Fonte: Brito (2012).

Os resultados do presente estudo concordaram com aqueles apresentados por Mohamed e Mansour (2012) que não encontraram diferenças significativas em pastéis de carne feitos com carne mecanicamente separada de frango, adicionados

de óleos essenciais de Manjerona e Alecrim e não adicionados, quanto ao crescimento de bactérias psicrotróficas, ao longo do armazenamento congelado por 3 meses. Segundo Uhart, Maks, Ravishankar, 2006, gordura e proteína podem ser responsáveis pela redução da atividade bactericida de alguns antioxidantes em alimentos.

As amostras adicionadas de antioxidante 1 e irradiadas na fonte de cobalto (A1Co) e as amostras adicionadas de antioxidante 1 irradiadas na fonte de acelerador de elétrons (A1Ae) apresentaram uma redução significativa ($p < 0,05$) na contagem de bactérias psicrotróficas ao longo do armazenamento refrigerado, quando comparadas aos resultados obtidos para as amostras sem antioxidante e não irradiadas (C), amostras adicionadas de antioxidante 1 sem irradiar (A1), amostras sem adição de antioxidante e irradiadas na fonte de cobalto-60 (Co) e amostras sem adição de antioxidante e irradiadas na fonte de acelerador de elétrons (Ae) (Figura 14A, B e C). O mesmo comportamento foi observado para as amostras adicionadas de antioxidante 2 e irradiadas na fonte de cobalto (A2Co) e as amostras adicionadas de antioxidante 2 irradiadas na fonte de acelerador de elétrons (A2Ae) quando comparadas aos resultados obtidos para as amostras sem antioxidante e não irradiadas (C), amostras adicionadas de antioxidante 2 sem irradiar (A2), amostras sem adição de antioxidante e irradiadas na fonte de cobalto-60 (Co).

As amostras adicionadas de antioxidantes 1 e 2 e irradiadas na fonte de cobalto-60, ou seja, A1Co e A2Co, mostraram valores médios para bactérias psicrotróficas, ao longo do armazenamento refrigerado, de $4,10 \pm 0,21 \log (\text{UFC}).\text{g}^{-1}$ e $4,03 \pm 0,31 \log (\text{UFC}).\text{g}^{-1}$, respectivamente. Já as amostras adicionadas da mistura de antioxidantes 1 e 2 e irradiadas na fonte de acelerador de elétrons, ou seja, A1Ae e A2Ae, apresentaram valores médios respectivos de $3,77 \pm 0,15 \log (\text{UFC}).\text{g}^{-1}$ e $3,83 \pm 0,23 (\text{UFC}).\text{g}^{-1}$. Os menores valores médios de bactérias psicrotróficas registrados em amostras adicionadas de antioxidantes e irradiadas, (A1Ae e A2Ae) corroboraram para indicar efeito sinérgico da radiação ionizante com a adição de antioxidantes, na redução da contagem microbiana ao longo do armazenamento refrigerado.

O menor incremento bacteriano (D11-D0) foi registrado para amostras adicionadas de antioxidante 1 e irradiadas em acelerador de elétrons (A1Ae), ao longo de todo o período de estudo, seguido dos valores registrados para as

amostras adicionadas de antioxidante 1 e irradiadas em fonte de cobalto-60 (A1Co), amostras adicionadas de antioxidante 2 e irradiadas em acelerador de elétrons (A2Ae) e amostras adicionadas de antioxidante 2 e irradiadas em fonte de cobalto-60 (A2Co), uma vez que apresentaram respectivamente aumento de contagem de bactérias psicrotróficas, de $1,15 \log (\text{UFC}).\text{g}^{-1}$, $2,10 \log (\text{UFC}).\text{g}^{-1}$, $2,22 \log (\text{UFC}).\text{g}^{-1}$ e $3,26 \log (\text{UFC}).\text{g}^{-1}$ durante os 11 dias de armazenamento refrigerado (Tabela 4).

Os resultados também mostraram que todas as amostras irradiadas com adição de antioxidantes apresentaram menor contagem de bactérias psicrotróficas, ao final do período de armazenamento refrigerado (D 11), quando os resultados foram comparados aos obtidos em amostras não irradiadas (C, A1 e A2) e aquelas irradiadas sem a adição de antioxidantes (Ae e Co), como mostra a tabela 4.

Os resultados de contagem de bactérias psicrotróficas obtidos para CMSF irradiada em fonte de cobalto-60 e acelerador de elétrons, revelaram diferenças significativas ($p < 0,05$) somente quando comparado os valores observados em amostras adicionadas de antioxidante 1 irradiadas na fonte cobalto-60 (A1Co) e as amostras adicionadas de antioxidante 1 e irradiadas na fonte de acelerador de elétrons (A1Ae), no 4º dia de armazenamento refrigerado (Figura 14C).

Park et al. (2010) relataram que a irradiação em fonte de cobalto-60 foi mais efetiva na eliminação da população bacteriana de mesófilos em pastéis de salsicha, quando comparado aos resultados obtidos em acelerador de elétrons, usando doses de 5,0 kGy, 10 kGy, 15 kGy e 20 kGy, durante armazenamento em temperatura de 30 °C por 10 dias. Chung et al. (2000) também encontraram resultados mais efetivos na destruição de *Pseudomonas fluorescens* com a irradiação na fonte de cobalto quando comparada à fonte de acelerador de elétrons em carnes bovinas refrigeradas. Estes autores citaram como justificativa para estes resultados, o fato do acelerador de elétrons possuir um menor poder de penetração.

No presente estudo, a penetração da fonte de acelerador de elétrons foi levada em consideração desde o início do planejamento do projeto, sendo assim, as amostras foram preparadas para que sua espessura estivesse dentro do limite de penetração oferecido pelo equipamento e com isso houvesse um processo de irradiação o mais uniforme possível das amostras. Além disso, foram realizadas dosimetrias para que a dose pretendida fosse confirmada.

Tabela 4 - Valores médios de bactérias psicotróficas log (UFC).g-1 $\pm$ erro padrão, em amostras de CMSF, irradiadas ou não, adicionadas ou não de antioxidantes, ao longo do armazenamento refrigerado (2 ± 1 °C).

	C	A1	A2	Co	Ae	A1Co	A2Co	A1Ae	A2Ae
D0	4,3 $\pm$ 0,10 Ac	4,15 $\pm$ 0,10 Abc	4,2 $\pm$ 0,10 Ac	4,05 $\pm$ 0,10 Ab	3,92 $\pm$ 0,10 Ab	3,15 $\pm$ 0,22 Aa	2,94 $\pm$ 0,64 Aab	3,01 $\pm$ 0,21 Aa	2,75 $\pm$ 0,10 Aa
D2	4,32 $\pm$ 0,10 Ac	4,14 $\pm$ 0,10 Abc	4,19 $\pm$ 0,10 Abc	4,14 $\pm$ 0,10 Abc	4,03 $\pm$ 0,10 Ab	3,39 $\pm$ 0,22 Aba	2,92 $\pm$ 0,64 Aabc	3,32 $\pm$ 0,28 Aa	3,1 $\pm$ 0,22 ABa
D4	4,61 $\pm$ 0,21 Af	4,68 $\pm$ 0,21 Bcf	4,55 $\pm$ 0,21 Ace	4,13 $\pm$ 0,10 Aed	3,97 $\pm$ 0,10 Ad	3,75 $\pm$ 0,10 BCB	3,51 $\pm$ 0,22 Aad	3,46 $\pm$ 0,10 Aa	3,47 $\pm$ 0,10 Ba
D7	6,30 $\pm$ 0,28 Bbe	6,39 $\pm$ 0,28 Cbe	6,34 $\pm$ 0,28 Be	5,67 $\pm$ 0,64 Bde	4,88 $\pm$ 0,64 Aadf	4,13 $\pm$ 0,21 Ca	4,1 $\pm$ 0,21 Aac	4,27 $\pm$ 0,64 ABacd	3,97 $\pm$ 0,22 Dacd
D9	7,25 $\pm$ 0,10 Cb	7,23 $\pm$ 0,10 Db	7,22 $\pm$ 0,10 Cb	7,05 $\pm$ 0,10 Bbc	6,94 $\pm$ 0,10 Bc	4,96 $\pm$ 0,64Ca	4,5 $\pm$ 0,64 Aa	4,37 $\pm$ 0,64 ABa	4,71 $\pm$ 0,64 CDa
D11	9,00 $\pm$ 0,28 Db	9,08 $\pm$ 0,22 Eb	9,17 $\pm$ 0,22 Db	8,86 $\pm$ 0,22 Cb	8,61 $\pm$ 0,64Cb	5,25 $\pm$ 1,13ABCa	6,2 $\pm$ 0,22 Aab	4,16 $\pm$ 0,22 Ba	4,97 $\pm$ 1,13 ABDa
Incremento (D11-D0)	4,7	4,93	4,97	4,81	4,69	2,1	3,26	1,15	2,22

O dia zero de armazenamento refere-se ao primeiro dia de análise após a irradiação da CMSF. Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna ou letras minúsculas diferentes na mesma linha, existe diferença significativa ($p < 0,05$). $n = 3$.

Fonte: Brito (2012).

Gomes et al. (2003a) encontraram diferenças significativas na contagem de bactérias psicotróficas entre amostras de CMSF controle e irradiadas em fonte de Cobalto-60 com doses de 3,0 e 4,0 kGy a partir do 1º dia de armazenamento refrigerado, sendo esta diferença significativa ao longo de todo armazenamento refrigerado. Estes autores concluíram que as amostras irradiadas apresentaram condições satisfatórias até o 12º de armazenamento refrigerado, enquanto as amostras controle estavam viáveis somente até o 8º dia. Porém podemos analisar neste trabalho que a CMSF apresentava melhores condições de qualidade que a CSMF do presente estudo, apresentar menores valores de gordura na composição e consequentemente menores valores de oxidação lipídica (TBARS) ao longo de todo armazenamento refrigerado.

No presente estudo a CMSF fresca apresentou características iniciais de deteriorização mais acentuada, visto que as amostras sem antioxidante e não irradiadas (C) já apresentavam no 7º dia de armazenamento refrigerado um alto grau de oxidação lipídica, medido pelos valores de TBARS, com média de $8,00 \pm 1,25 \text{ mg Mal.kg}^{-1}$.

A condição inicial de qualidade de uma matéria-prima é de suma importância antes mesmo de pensarmos em um processamento que vise melhorar as condições e aumentar a vida de prateleira de um alimento. O processo de irradiação, o uso de embalagens com atmosfera modificada e até mesmo o uso de antioxidantes são ferramentas auxiliares que devem ser aplicadas, mas nunca esquecendo o uso das boas práticas de fabricação de um produto.

Para se alcançar bons resultados com a irradiação de alimentos, somente produtos de alta qualidade devem ser tratados. Se os alimentos primariamente à irradiação já se encontram deteriorados, por exemplo, com uma alta contaminação microbiana, a irradiação do produto não irá remover os danos causados pela deterioração, tais como aspectos relacionados a odor e aparência. A irradiação é uma tecnologia usada para inativação de microrganismos e não serve como substituto de boas práticas de higiene, sendo estritamente importante seguir as boas práticas de fabricação para assegurar qualidade e segurança do alimento. Alimentos irradiados devidamente processados são saudáveis (MONK; BEUCHAT; DOYLE, 1995).

A irradiação é efetiva para eliminar ou reduzir microrganismos deterioradores e patogênicos, incluindo *L. monocytogenes*, *Salmonella* spp., *E. Coli* O157:H7, *Campilobacter* spp., *Yersinia enterocolitica*, *Staphylococcus aureus* leveduras e bolores em produtos cárneos, portanto aumentando a segurança microbiológica de produtos crus, prevenindo possíveis riscos para a saúde. Uma diferença na sensibilidade dos microrganismos ao processo de irradiação é observada dependendo da dose de radiação, do tipo de microrganismo, do tamanho de cada organismo, do microambiente. A resistência também é dependente de fatores ambientais externos como pH, temperatura e composição química dos alimentos aos quais as células microbianas estão suspensas (MONK; BEUCHAT; DOYLE, 1995). A presença de alguns componentes químicos como proteínas, nitrilos, sulfitos, componentes sulfídricos oferecem efeito protetor aos microrganismos, já grupos contendo SH tem efeito promotor na sensibilidade (JAE, 1991).

Durante a irradiação, a absorção de energia ionizante pelas cadeias polipeptídicas provoca diferentes tipos de reação, de acordo com a dose absorvida, temperatura, presença ou ausência de oxigênio. As reações podem conduzir à ruptura de ligações peptídicas, com desaminação primária e secundária, oxidação de grupos tióis (SH) e redução de pontes dissulfídicas (SS) (LATREILLE et al., 2003).

Muitos estudos têm mostrado que meios complexos, como ovo líquido, promovem certa proteção ao microrganismo contra a radiação, quando comparados a meios tampões. Outros trabalhos têm mostrado que valores D10 para microrganismos também dependem se eles foram irradiados em carne moída com alta ou baixa concentração de gordura (DIEHL, 1990).

No presente estudo, o uso de substâncias antioxidantes, que tem função de sequestrar ou impedir a ação de substâncias reativas que promovem a oxidação, mostrou melhorar a eficácia desse processo tanto sobre a qualidade microbiologia quanto sobre a oxidação lipídica.

Estudos têm sido realizados avaliando o efeito secundário de alguns antioxidantes, com propriedades bacteriostáticas significativas em microrganismos presentes em alimentos, principalmente ervas e temperos contendo óleos essenciais como alecrim e orégano (TAJKARIMI; IBRAHIM; CLIVER, 2010), mas pouco se sabe

sobre o mecanismo de ação sinérgica destes antioxidantes com o processo de irradiação na destruição de microrganismos presentes em alimentos.

Yun et al. (2011) estudaram o efeito de ingredientes naturais (alho, cebola, pimenta preta, pimenta, gengibre, cebola verde, cenoura) e de vinho tinto usados na formulação de produtos cárneos sobre a sensibilidade de patógenos inoculados em carne moída e concluíram de seus resultados que a adição de ingredientes naturais nos produtos cárneos aumentou a sensibilidade de patógenos: a dose de radiação necessária para a obtenção do mesmo nível de segurança poderia ser reduzida, minimizando assim alterações de qualidade causadas por um processo de irradiação com alta dose.

Mohamed et al. (2011) verificaram que a adição de extratos de ervas (Manjerona, Alecrim e Sálvia) antes do processo de irradiação em carne moída possibilitou valores menores de contagem bacteriana comparadas às amostras irradiadas sem a adição destes, no 19º dia de armazenamento. Além disso, a adição dessas ervas em concentração de 0,04% estenderam a vida útil das amostras irradiadas com dose de 2 kGy e 4,5 kGy para 1 e 2 semanas a mais que as amostras irradiadas sem a adição destas ervas.

Turgis et al. (2008) usaram óleos naturais selecionados (canela chinesa, orégano espanhol e mostarda) em combinação com dose de radiação de 1,5 kGy para eliminar bactérias mesófilas, *E. coli*, *Salmonella*, coliformes fecais, bactérias lácticas e *Pseudomonas* de carne moída e prolongar a vida útil deste produto. A irradiação sozinha foi capaz de inibir completamente crescimento de bactérias mesófilas e patogênicas. A combinação da irradiação com óleos essenciais (óleos de mostarda e canela) foi melhor para reduzir bactérias lácticas e *Pseudomonas* (óleos de orégano e mostarda). O melhor tratamento para aumentar a vida útil da carne moída para 28 dias foi a utilização de óleos essenciais com o processo de irradiação (1,5 kGy) e uso de embalagens com atmosfera modificada.

O mecanismo primário de inibição da radiação ionizante envolve a quebra de ligantes químicos dentro da molécula de DNA, ou alterações na permeabilidade da membrana ou outras funções celulares (LOPEZ-GONZALES et al., 1999). Estas injúrias celulares variáveis podem danificar completamente o microrganismo e causar sua morte ou ocasionar danos que levem a um maior período de recuperação no crescimento do microrganismo (DIEHL, 1990). Além disso, estes

danos podem facilitar o contato entre moléculas antimicrobianas e as membranas celulares, aumentando o efeito inibitório.

Neste estudo pode-se perceber diferenças entre os períodos de crescimento dos microrganismos em amostras irradiadas e não irradiadas, adicionadas ou não de antioxidantes, mostrados nas Figuras 14 e 15.

Esta observação também foi observada nos estudos de Ouattara, Sabato e Lacroix (2001) que relataram uma interação aditiva do efeito da radiação gamma e de filmes de revestimento com antimicrobianos, no crescimento bacteriano em camarões pré-cozidos descascados. Estes efeitos foram caracterizados por uma longa fase "lag", baixa taxa de crescimento, com resultados significativos na extensão da vida útil das amostras irradiadas.

Alguns estudos anteriores sobre a combinação de radiação gama e outros tratamentos sugeriram que os microrganismos que sobrevivem ao tratamento da radiação apresentam, provavelmente, uma maior sensibilidade às condições ambientais (temperatura, pH, nutrientes, inibidores, etc) que as células não tratadas (FARKAS, 1990; LACROIX; OUATTARA, 2000).

Os antioxidantes atuam através de diversos mecanismos para inibir a oxidação lipídica. Os eritorbatos são derivados de isômeros do ácido ascórbico, com função de sequestrador de oxigênio, mudança de potencial redox do sistema (TOMPKIN; CHRISTIANSEN; SHAPARIS, 1978). Os polifosfatos são quelantes de metais, principalmente Ferro e Cobre (LABUZA, 1971). A ação antioxidante dos tocoferóis é devida sua capacidade de doar seus hidrogênios fenólicos aos radicais livres lipídicos, interrompendo a propagação em cadeia (RAMALHO; JORGE, 2006). Os antioxidantes fenólicos (alecrim) atuam como sequestradores de radicais e algumas vezes como quelantes de metais (SHAHIDI; JANITHA; WANASUNDARA, 1992). Todas estas funções descritas podem ter influenciado a recuperação das bactérias, anteriormente lesadas pelo processo de radiação, impedindo que metabolismos celulares vitais aos quais fazem uso de oxigênio disponível e/ou de minerais como Ferro e Cobre, e/ou algum outro nutriente, fossem executados. Sendo assim, podemos inferir ter havido uma associação entre os danos causados pelo processo de irradiação e a ação dos antioxidantes, que geraram um desequilíbrio ao metabolismo celular das bactérias psicotróficas, retardando sua replicação.

Figura 14 - Valores médios de bactérias psicrotróficas em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 1.

O dia zero de armazenamento refere-se ao primeiro dia de análise após a irradiação da CMSF. **A**- Fonte de Cobalto-60. **B** – Acelerador de elétrons. **C**- Comparação entre a fonte de Cobalto-60 e acelerador de elétrons. Amostra sem antioxidante e não irradiado (C), Com antioxidante 1 e não irradiado (A1), sem antioxidante e irradiado na Fonte de Cobalto-60 (Co), sem antioxidante e irradiado na fonte de acelerador de elétrons (Ae), com antioxidante 1 e irradiado na fonte de Cobalto-60 (A1Co), com antioxidante 1 e irradiado em acelerador de elétrons (A1Ae). * $p < 0,05$; *, ** ou *** valores significativamente ($p < 0,05$) diferentes. $n = 3$.

Fonte: Brito (2012).

Figura 15 - Valores médios de bactérias psicotróficas em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 2.

O dia zero de armazenamento refere-se ao primeiro dia de análise após a irradiação da CMSF. **A**- Fonte de Cobalto-60. **B** - Acelerador de elétrons. **C**- Comparação entre a fonte de Cobalto-60 e acelerador de elétrons. Amostra sem antioxidante e não irradiado (C), Com antioxidante 2 e não irradiado (A2), sem antioxidante e irradiado na Fonte de Cobalto-60 (Co), sem antioxidante e irradiado na fonte de acelerador de elétrons (Ae), com antioxidante 2 e irradiado na fonte de Cobalto-60 (A2Co), com antioxidante 2 e irradiado em acelerador de elétrons (A2Ae). * $p < 0,05$; * e ** valores significativamente ($p < 0,05$) diferentes. $n = 3$.

Fonte: Brito (2012).

Os efeitos sinérgicos da radiação com agentes naturais também foram observadas no trabalhos de Takala, Salmiere e Lacroix (2011) em seu estudo sobre o efeito da combinação de tratamentos de irradiação e revestimento antimicrobianos, na redução de patógenos alimentares em *broccoli florets* e também nos estudos de Mahour et al. (1998) que encontraram uma redução significativa na dose de radiação para o controle de *Salmonella* spp. em carne de aves marinadas com extratos de plantas naturais com radiação gamma.

5.2.4 Análise Sensorial

A Irradiação é um método efetivo para a redução da carga microbiana em alimentos, mas pode ter influência significativa nas características sensoriais e na cor da carne. Sendo assim, é imprescindível avaliar estas características em alimentos irradiados.

A avaliação sensorial realizada através de panelistas treinados, com pontuação para diferentes características, possibilita avaliar as características e intensidades dos atributos de um determinado produto. Esta metodologia é bem documentada nos trabalhos da área de alimentos que visam avaliar qualidade sensorial de alimentos (AL-BACHIR; ZEINOU, 2009; BADR, 2007; GOMES et al., 2003a; GOMES; SILVA, 2006; JAVANMARD et al., 2006; LACROIX et al., 2000; MIYAGUSKU; LEITÃO; BAFFA, 2003).

5.2.4.1 Cor

No dia 0 de armazenamento (D0) as amostras sem antioxidante e não irradiadas (C), amostras adicionadas de antioxidante 1 sem irradiar (A1) e amostras adicionadas de antioxidante 2 sem irradiar (A2) apresentaram pontuações médias para o atributo cor rósea de $8,8 \pm 0,57$, $8,92 \pm 0,57$ e $8,71 \pm 0,57$, respectivamente. As amostras sem a adição de antioxidantes e irradiadas, apresentaram valores médios para cor rósea de $6,5 \pm 0,57$ e $6,35 \pm 0,57$ quando irradiadas, respectivamente em fonte de cobalto-60 (Co) e acelerador de elétrons (Ae). As amostras adicionadas de antioxidantes 1 e irradiadas, ou seja, A1Co e A1Ae e amostras adicionadas de antioxidantes 2 e irradiadas, ou seja, A2Co e A2Ae,

apresentaram valores médios para cor rósea de $7,55 \pm 0,57$, $7,04 \pm 0,57$, $7,65 \pm 0,57$ e $6,5 \pm 0,57$, respectivamente.

A presença de antioxidantes contribuiu para que as amostras irradiadas apresentassem notas mais elevadas de cor rósea na avaliação dos julgadores quando comparadas às amostras irradiadas sem a adição de antioxidantes ao longo do armazenamento refrigerado, mas somente foram verificadas diferenças significativas ($p < 0,05$) em alguns dias de armazenamento refrigerado (Figura 16 A e B e Figura 17A e B).

As amostras adicionadas de antioxidante 1 ou antioxidante 2 e irradiadas na fonte de cobalto-60 (A1Co, A2Co) apresentaram aumento significativo ($p < 0,05$) na avaliação de cor rósea quando comparada às amostras sem antioxidante e irradiadas (Co) somente no 2º dia de armazenamento refrigerado (Figura 16 A e Figura 17A). Quando se compara os resultados de cor rósea observados em amostras sem adição de antioxidante e irradiadas em acelerador de elétrons (Ae), com aqueles de amostras adicionadas de antioxidante 1 e 2 e irradiadas em acelerador de elétrons, ou seja A1Ae e A2Ae, verifica-se aumento significativo ($p < 0,05$) nos escores de cor rósea também no 2º dia de armazenamento refrigerado, somente para as amostras adicionadas de antioxidante 1 (A1Ae). (Figura 16B e 17B).

A cor da carne é um dos fatores mais importantes na decisão do consumidor no momento da compra de uma peça de carne. Alguns pesquisadores relataram que a irradiação de carne moída sem adição de antioxidantes decresceu os escores de cor após a irradiação e durante o período de armazenamento, principalmente em amostras irradiadas com 4,5 kGy. A adição de extratos de antioxidantes naturais antes do processo de irradiação nessas amostras de carne aumentou significativamente os escores das amostras tratadas com 4,5 kGy (MOHAMED et al., 2011).

No presente estudo, foi encontrada redução significativa ($p < 0,05$) nos valores de cor rósea para as amostras adicionadas de antioxidante 1 e irradiadas nas fontes cobalto-60 (A1Co) e para amostras adicionadas de antioxidante 1 irradiadas em acelerador de elétrons (A1Ae), quando os resultados foram comparados aos obtidos em amostras adicionadas de antioxidante 1 sem irradiar (A1), nos dias 2 e 9 e 0, 2 e 9, respectivamente (Figura 17C). Para as amostras

adicionadas de antioxidante 2 e irradiadas em fonte de cobalto-60 (A2Co) e para amostras adicionadas de antioxidante 2 irradiadas em acelerador de elétrons (A2Ae), houve redução significativa ($p < 0,05$) nos valores de cor rósea, quando comparados aos valores observados em amostras adicionadas de antioxidante 2 sem irradiar (A2), nos dias 9 e 11 e 0, 2 e 9 e 11, respectivamente (Figura 17C).

De acordo com a Figura 16 B e C e Figura 17 B e C pode-se observar que nos dias 4 e 7 de armazenamento refrigerado não foi registrado qualquer diferença significativa ($p > 0,05$) entre os diferentes tratamentos. Assim, verificou-se que as principais diferenças na cor rósea da CMSF foram registradas no início e final do armazenamento refrigerado.

Os resultados não mostraram diferença significativa ($p > 0,05$) para cor rósea quando comparadas entre si amostras adicionadas de antioxidante 1 ou 2 irradiadas nas fontes de cobalto-60 (A1Co e A2Co), bem como as amostras adicionadas de antioxidante 1 ou 2 irradiadas na fonte de acelerador de elétrons (A1Ae e A2Ae) (Figuras 16C e 17C).

Figura 16 - Valores médios para o atributo sensorial cor rósea em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 1.

O dia zero de armazenamento refere-se ao primeiro dia de análise após a irradiação da CMSF. **A-** Fonte de Cobalto-60. **B –** Acelerador de elétrons. **C-** Comparação entre a fonte de Cobalto-60 e acelerador de elétrons. Amostra sem antioxidante e não irradiado (C), Com antioxidante 1 e não irradiado (A1), sem antioxidante e irradiado na Fonte de Cobalto-60 (Co), sem antioxidante e irradiado na fonte de acelerador de elétrons (Ae), com antioxidante 1 e irradiado na fonte de Cobalto-60 (A1Co), com antioxidante 1 e irradiado em acelerador de elétrons (A1Ae). * $p < 0,05$; * e ** valores significativamente ($p < 0,05$) diferentes. $n = 3$. Fonte: Brito (2012).

Figura 17 - Valores médios para o atributo sensorial cor rósea em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 2.

O dia zero de armazenamento refere-se ao primeiro dia de análise após a irradiação da CMSF. **A**- Fonte de Cobalto-60. **B** – Acelerador de elétrons. **C**- Comparação entre a fonte de Cobalto-60 e acelerador de elétrons. Amostra sem antioxidante e não irradiado (C), Com antioxidante 2 e não irradiado (A2), sem antioxidante e irradiado na Fonte de Cobalto-60 (Co), sem antioxidante e irradiado na fonte de acelerador de elétrons (Ae), com antioxidante 2 e irradiado na fonte de Cobalto-60 (A2Co), com antioxidante 2 e irradiado em acelerador de elétrons (A2Ae). * $p < 0,05$; * e ** valores significativamente ($p < 0,05$) diferentes. $n = 3$. Fonte: Brito (2012).

5.2.4.2 Odor

Dos resultados apresentados nas Figuras 18 e 19, pode-se inferir que o odor de irradiado foi sentido com maior intensidade nas amostras irradiadas quando comparado às amostras sem antioxidante e não irradiadas (C), independente da fonte de radiação e da adição de antioxidantes ao longo do armazenamento.

No 4º dia de armazenamento refrigerado houve uma redução significativa no odor de irradiado com a adição de antioxidante 1 nas amostras irradiadas em acelerador de elétrons (A1Ae) quando comparado às amostras sem a adição de antioxidantes e irradiadas na fonte de acelerador de elétrons (Ae). Para as outras amostras irradiadas, A1Co, A2Co e A2Ae, percebe-se que a adição de antioxidantes amenizou a intensidade do odor de irradiado em alguns dias de armazenamento refrigerado, quando os resultados foram comparados aos obtidos em amostras que foram irradiadas e não tiveram a adição dos mesmos (Co e Ae), não havendo diferenças significativas ($p > 0,05$).

Os valores médios para o odor de irradiado, ao longo dos dias de armazenamento, nas amostras sem antioxidante e não irradiadas (C), amostras adicionadas de antioxidantes 1 não irradiadas (A1) e amostras adicionadas de antioxidante 2 não irradiadas (A2) foram, respectivamente, $1,90 \pm 0,53$, $1,32 \pm 0,47$ e $1,35 \pm 0,44$.

As amostras irradiadas na fonte de cobalto-60 sem adição de antioxidante (Co) e as amostras irradiadas em acelerador de elétrons sem adição de antioxidantes (Ae) apresentaram, respectivamente, valores médios de $3,22 \pm 0,21$ e $3,23 \pm 0,18$.

Já amostras adicionadas de antioxidante 1 irradiadas na fonte de cobalto-60 (A1Co) e as amostras adicionadas de antioxidante 2 e irradiadas na fonte de cobalto-60 (A2Co) apresentaram valores médios de $3,06 \pm 0,14$ e $3,22 \pm 0,19$, respectivamente. Para as amostras adicionadas de antioxidante 2 irradiadas na fonte de cobalto-60 (A2Co) e as amostras adicionadas de antioxidante 2 irradiadas em acelerador de elétrons (A2Ae), os valores médios foram de $2,47 \pm 0,12$ e $3,08 \pm 0,13$, respectivamente.

Ao longo do período de armazenamento não foram detectadas diferenças significativas ($p > 0,05$) para valores de odor de irradiado, quando comparadas entre si as amostras adicionadas de antioxidante 1 ou 2 irradiadas nas fontes de cobalto-60 (A1Co e A2Co), bem como as amostras adicionadas de antioxidante 1 ou 2 irradiadas em acelerador de elétrons (A1Ae e A2Ae) (Figuras 18C e 19C).

Mohamed et al. (2011) encontraram aumento na intensidade de odor de irradiado ao longo do armazenamento refrigerado em amostras de carne moída embaladas em sacos de polietileno e irradiadas com dose de 2,0 e 4,5 kGy. A adição de extratos de ervas (manjerona, manjeriço ou Sálvia) na carne móida, antes da irradiação, resultou em reduções significativas destes escores após a irradiação e durante o período de armazenamento.

Quanto à percepção de odor oxidado, apresentados nas figuras 20 e 21, percebe-se que no dia 0 de armazenamento refrigerado as amostras adicionadas de antioxidantes e irradiadas, A1Ae e A2Ae, apresentaram os valores mais elevados, quando comparados aos obtidos nos outros tratamentos, com médias de $1,16 \pm 0,33$ e $1,14 \pm 0,33$, respectivamente. Comparativamente, as amostras adicionadas de antioxidante 2 e não irradiadas (A2) apresentaram os menores valores para odor de oxidado em D0, com média de $0,09 \pm 0,33$.

De modo geral no presente estudo não foram percebidas diferenças significativas ($p > 0,05$) no odor de oxidado quando comparados resultados observados para os diferentes tratamentos ao longo do armazenamento refrigerado. De acordo com o esperado, amostras não irradiadas, adicionadas ou não de antioxidantes apresentaram os menores valores para odor de oxidado, durante todo o período de armazenamento refrigerado. Sendo assim, o processo de irradiação na presença ou não de antioxidantes não influenciou significativamente a percepção de odor de oxidado na CMSF.

Figura 18 - Valores médios para o atributo sensorial odor de irradiado em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 1.

O dia zero de armazenamento refere-se ao primeiro dia de análise após a irradiação da CMSF. **A-** Fonte de Cobalto-60. **B –** Acelerador de elétrons. **C-** Comparação entre a fonte de Cobalto-60 e acelerador de elétrons. Amostra sem antioxidante e não irradiado (C), Com antioxidante 1 e não irradiado (A1), sem antioxidante e irradiado na Fonte de Cobalto-60 (Co), sem antioxidante e irradiado na fonte de acelerador de elétrons (Ae), com antioxidante 1 e irradiado na fonte de Cobalto-60 (A1Co), com antioxidante 1 e irradiado em acelerador de elétrons (A1Ae). * $p < 0,05$; * e ** valores significativamente ($p < 0,05$) diferentes. $n = 3$. Fonte: Brito (2012).

Figura 19 - Valores médios para o atributo sensorial odor de irradiado em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 2.

O dia zero de armazenamento refere-se ao primeiro dia de análise após a irradiação da CMSF. **A-** Fonte de Cobalto-60. **B –** Acelerador de elétrons. **C-** Comparação entre a fonte de Cobalto-60 e acelerador de elétrons. Amostra sem antioxidante e não irradiado (C), Com antioxidante 2 e não irradiado (A2), sem antioxidante e irradiado na Fonte de Cobalto-60 (Co), sem antioxidante e irradiado na fonte de acelerador de elétrons (Ae), com antioxidante 2 e irradiado na fonte de Cobalto-60 (A2Co), com antioxidante 2 e irradiado em acelerador de elétrons (A2Ae). * $p < 0,05$; * e ** valores significativamente ($p < 0,05$) diferentes. $n = 3$. Fonte: Brito (2012).

Figura 20 - Valores médios para o atributo sensorial odor de Oxidado em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 1.

O dia zero de armazenamento refere-se ao primeiro dia de análise após a irradiação da CMSF. **A-** Fonte de Cobalto-60. **B –** Acelerador de elétrons. **C-** Comparação entre a fonte de Cobalto-60 e acelerador de elétrons. Amostra sem antioxidante e não irradiado (C), Com antioxidante 1 e não irradiado (A1), sem antioxidante e irradiado na Fonte de Cobalto-60 (Co), sem antioxidante e irradiado na fonte de acelerador de elétrons (Ae), com antioxidante 1 e irradiado na fonte de Cobalto-60 (A1Co), com antioxidante 1 e irradiado em acelerador de elétrons (A1Ae). * e ** valores significativamente ($p < 0,05$) diferentes. $n = 3$.
Fonte: Brito (2012).

Figura 21 - Valores médios para o atributo sensorial odor de oxidado em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 1.

O dia zero de armazenamento refere-se ao primeiro dia de análise após a irradiação da CMSF. **A-** Fonte de Cobalto-60. **B –** Acelerador de elétrons. **C-** Comparação entre a fonte de Cobalto-60 e acelerador de elétrons. Amostra sem antioxidante e não irradiado (C), Com antioxidante 2 e não irradiado (A2), sem antioxidante e irradiado na Fonte de Cobalto-60 (Co), sem antioxidante e irradiado na fonte de acelerador de elétrons (Ae), com antioxidante 2 e irradiado na fonte de Cobalto-60 (A2Co), com antioxidante 2 e irradiado em acelerador de elétrons (A2Ae). * $p < 0,05$; * e ** valores significativamente ($p < 0,05$) diferentes. $n = 3$. Fonte: Brito (2012).

Nas figuras 22 e 23 estão apresentados os dados para odor estranho que foram detectados pelos julgadores durante a avaliação sensorial. Para as amostras sem antioxidante e não irradiadas (C) houve um aumento pronunciado e significativo ($p < 0,05$) nos valores de odor estranho, a partir do 7º dia de armazenamento refrigerado, quando comparadas às demais amostras (Co, Ae, A1Co, A1Ae, A2Co e A2Ae). Já as amostras adicionadas de antioxidante 1 e não irradiadas (A1) tiveram um aumento pronunciado e significativo ($p < 0,05$) nos valores de odor estranho, a partir do 9º dia de armazenamento refrigerado; enquanto amostras adicionadas de antioxidante 2 e não irradiadas (A2) tiveram aumento significativo ($p < 0,05$) nos valores de odor estranho, nos dias 7 e 11 de armazenamento refrigerado. As amostras adicionadas de antioxidantes e irradiadas, A1Ae, A1Co, A2Ae e A2Co apresentaram menores valores para este atributo a partir de D7, quando os resultados foram comparados aos observados nas amostras controle (C). Por outro lado, as amostras adicionadas de antioxidante 1 e irradiadas (A1Co e A1Ae) e aquelas irradiadas com antioxidante 2 (A2Co e A2Ae) apresentaram valores significativamente menores ($p > 0,05$) nos valores de odor estranho, quando comparado aos valores registrados em amostras adicionadas de antioxidante sem irradiar, A1 e A2, respectivamente, em D9 e D11 (Figura 22C) e D7 e D11 (Figura 23C).

No último dia de armazenamento refrigerado (D11) as amostras sem irradiar, estavam com odor azedo, completamente estragadas. Comparando-se estes resultados com aqueles obtidos na contagem de bactérias psicrotróficas, pode-se perceber que houve relação entre o aumento significativo nos valores de odor estranho com elevados valores de microrganismos psicrotróficos registrados para amostras sem irradiar C, A1 e A2, indicando maior potencial à deterioração e a produção de odores pútridos.

Figura 22 - Valores médios para o atributo sensorial odor estranho em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerad, adicionadas ou não de antioxidante 1.

O dia zero de armazenamento refere-se ao primeiro dia de análise após a irradiação da CMSF. **A-** Fonte de Cobalto-60. **B –** Acelerador de elétrons. **C-** Comparação entre a fonte de Cobalto-60 e acelerador de elétrons. Amostra sem antioxidante e não irradiado (C), Com antioxidante 1 e não irradiado (A1), sem antioxidante e irradiado na Fonte de Cobalto-60 (Co), sem antioxidante e irradiado na fonte de acelerador de elétrons (Ae), com antioxidante 1 e irradiado na fonte de Cobalto-60 (A1Co), com antioxidante 1 e irradiado em acelerador de elétrons (A1Ae). * $p < 0,05$. $n = 3$.
Fonte: Brito (2012).

Figura 23 - Valores médios para o atributo sensorial odor estranho em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 2.

O dia zero de armazenamento refere-se ao primeiro dia de análise após a irradiação da CMSF. **A**- Fonte de Cobalto-60. **B** – Acelerador de elétrons. **C**- Comparação entre a fonte de Cobalto-60 e acelerador de elétrons. Amostra sem antioxidante e não irradiado (C), Com antioxidante 2 e não irradiado (A2), sem antioxidante e irradiado na Fonte de Cobalto-60 (Co), sem antioxidante e irradiado na fonte de acelerador de elétrons (Ae), com antioxidante 2 e irradiado na fonte de Cobalto-60 (A2Co), com antioxidante 2 e irradiado em acelerador de elétrons (A2Ae). * $p < 0,05$; * e ** valores significativamente ($p < 0,05$) diferentes. $n = 3$. Fonte: Brito (2012).

Segundo Brewer (2009b) o processo de irradiação aumenta a formação de compostos voláteis totais em carnes de bovinos, suínos e perus, entretanto, quantidades formadas durante o armazenamento podem ser significativamente diferentes, indicando que a intensidade do aroma de irradiado e não irradiado na carne podem ser marcadamente diferentes após a estocagem, dependendo do tipo de embalagem usada.

Além disso, os odores produzidos variam dependendo do tipo de carne, composição de gordura (ácidos graxos saturados e insaturados), temperatura durante a irradiação, exposição do produto ao oxigênio durante ou após o processo de irradiação, presença ou ausência de antioxidantes. A exclusão de oxigênio (embalagem a vácuo), substituição de oxigênio por gases inertes como o nitrogênio, adição de agentes protetores (antioxidantes) e estocagem pós irradiação para permitir que o sabor volte para níveis iniciais (reembalagem ou embalagem dupla com filmes permeáveis à oxigênio) e outras combinações são efetivos métodos para diminuir o efeito da irradiação na alteração do odor (BREWER, 2009b).

Ramamoorthi et al. (2010) avaliaram os efeitos de antioxidantes em carne bovina irradiada com dose de 0, 1,25 e 2,5 kGy. Neste estudo os pesquisadores verificaram que o uso de antioxidantes não apresentaram efeitos no odor de azedo, odor de carne, odor de cachorro molhado, odor de ranço ou odor doce. Durante o armazenamento refrigerado da carne, houve decréscimo nos valores percebidos somente para odor de cachorro molhado, sem observação de efeito sobre outros odores característicos.

5.2.5 Análise de Cor Objetiva

No presente estudo, a adição de antioxidantes 1 ou 2 nas amostras irradiadas nas fontes de cobalto-60 ou acelerador de elétrons, possibilitaram maiores valores para luminosidade (L^*), (Figura 24A e B, Figura 25A e B) e vermelho/verde (a^*) (Figura 26A e B, Figura 27A e B), quando os resultados foram comparados aos registrados em amostras sem antioxidante e irradiadas nas fonte de cobalto-60 (Co) ou acelerador de elétrons (Ae). Por outro lado, os resultados também mostraram que, a adição de antioxidantes 1 ou 2 nas amostras irradiadas nas fontes de cobalto-60 (A1Co e A2Co) ou acelerador de elétrons (A1Ae e A2Ae), não apresentaram

diferenças para os valores de amarelo/azul (b^*) (Figura 28 A e B, Figura 29 A e B), quando os resultados foram comparados aos registrados em amostras sem adição de antioxidante e irradiadas nas fonte de cobalto-60 (Co) ou acelerador de elétrons (Ae), ao longo do armazenamento refrigerado.

Sendo assim os resultados mostraram que o processo de irradiação contribuiu para diminuição nos valores de L^* , independente da fonte de radiação utilizada, quando os resultados foram comparados aos registrados em amostras sem adição de antioxidante e não irradiada (C). Quando as amostras foram adicionadas de antioxidante 1 ou 2 e irradiadas nas fontes de cobalto-60 (A1Co e A2Co) ou acelerador de elétrons (A2Co e A2Ae) passaram a apresentar maior intensidade de L^* quando comparadas as amostras sem adição de antioxidante e irradiadas sem a adição de antioxidantes (Co e Ae). Diferenças significativas ($p < 0,05$) foram registradas apenas para o 2º dia de armazenamento refrigerado entre as amostras irradiadas na fonte de Cobalto-60 (Co) e aquelas amostras adicionadas de antioxidante 2 e irradiadas na fonte de cobalto-60 (A2Co).

Ismail, Lee e Ahn (2008) não encontraram diferenças significativas para valores de L^* em carne moída irradiada sem ou com a adição de antioxidantes (ácido ascórbico, α -tocoferol e/ou gergelim). Park et al. (2010) também não encontraram diferenças significativas para o L^* em amostras de pastéis de salsicha irradiados com diferentes doses de radiação em fontes de cobalto-60 e acelerador de elétrons.

Figura 24 - Valores médios para luminosidade (L^*) em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 1.

O dia zero de armazenamento refere-se ao primeiro dia de análise após a irradiação da CMSF. **A-** Fonte de Cobalto-60. **B –** Acelerador de elétrons. **C-** Comparação entre a fonte de Cobalto-60 e acelerador de elétrons. Amostra sem antioxidante e não irradiado (C), Com antioxidante 1 e não irradiado (A1), sem antioxidante e irradiado na Fonte de Cobalto-60 (Co), sem antioxidante e irradiado na fonte de acelerador de elétrons (Ae), com antioxidante 1 e irradiado na fonte de Cobalto-60 (A1Co), com antioxidante 1 e irradiado em acelerador de elétrons (A1Ae). * $p < 0,05$; * e ** valores significativamente ($p < 0,05$) diferentes. Fonte: Brito (2012).

Figura 25 - Valores médios para luminosidade (L^*) em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 2.

O dia zero de armazenamento refere-se ao primeiro dia de análise após a irradiação da CMSF. **A**- Fonte de Cobalto-60. **B** – Acelerador de elétrons. **C**- Comparação entre a fonte de Cobalto-60 e acelerador de elétrons. Amostra sem antioxidante e não irradiado (C), Com antioxidante 2 e não irradiado (A2), sem antioxidante e irradiado na Fonte de Cobalto-60 (Co), sem antioxidante e irradiado na fonte de acelerador de elétrons (Ae), com antioxidante 2 e irradiado na fonte de Cobalto-60 (A2Co), com antioxidante 2 e irradiado em acelerador de elétrons (A2Ae). * e ** valores significativamente ($p < 0,05$) diferentes. $n = 3$.
Fonte: Brito (2012).

Figura 26 - Valores médios para intensidade de vermelho/verde (a^*) em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 1.

O dia zero de armazenamento refere-se ao primeiro dia de análise após a irradiação da CMSF. **A**- Fonte de Cobalto-60. **B** – Acelerador de elétrons. **C**- Comparação entre a fonte de Cobalto-60 e acelerador de elétrons. Amostra sem antioxidante e não irradiado (C), Com antioxidante 1 e não irradiado (A1), sem antioxidante e irradiado na Fonte de Cobalto-60 (Co), sem antioxidante e irradiado na fonte de acelerador de elétrons (Ae), com antioxidante 1 e irradiado na fonte de Cobalto-60 (A1Co), com antioxidante 1 e irradiado em acelerador de elétrons (A1Ae). * $p < 0,05$; * e ** valores significativamente ($p < 0,05$) diferentes. $n = 3$. Fonte: Brito (2012).

Figura 27 - Valores médios para intensidade de vermelho/verde (a^*) em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 2.

O dia zero de armazenamento refere-se ao primeiro dia de análise após a irradiação da CMSF. **A**- Fonte de Cobalto-60. **B** – Acelerador de elétrons. **C**- Comparação entre a fonte de Cobalto-60 e acelerador de elétrons. Amostra sem antioxidante e não irradiado (C), Com antioxidante 2 e não irradiado (A2), sem antioxidante e irradiado na Fonte de Cobalto-60 (Co), sem antioxidante e irradiado na fonte de acelerador de elétrons (Ae), com antioxidante 2 e irradiado na fonte de Cobalto-60 (A2Co), com antioxidante 2 e irradiado em acelerador de elétrons (A2Ae). * $p < 0,05$; * e ** valores significativamente ($p < 0,05$) diferentes. $n = 3$. Fonte: Brito (2012).

As amostras que receberam a adição de antioxidantes 1 ou 2 e foram irradiadas (A1Co, A1Ae, A2Co e A2Ae) apresentaram maiores valores de a^* quando comparados aos valores observados em amostras sem a adição de antioxidante e irradiadas (Co e Ae), independente da fonte de radiação utilizada, sendo esta diferença significativa ($p < 0,05$) em apenas alguns dias do armazenamento refrigerado (Figuras 26 A e B e 27 A e B).

De uma maneira geral, podemos perceber que todas as amostras apresentaram baixos valores de a^* com valores máximos de $6,42 \pm 0,57$ para as amostras sem antioxidante e não irradiadas (C), seguido sucessivamente dos valores registrados em amostras A1 ($8,09 \pm 0,57$), A2 ($7,05 \pm 0,57$), Co ($5,90 \pm 0,57$), Ae ($4,29 \pm 0,57$), A1Co ($6,34 \pm 0,57$), A2Co ($5,75 \pm 0,57$), A1Ae ($5,73 \pm 0,57$) e A2Ae ($6,19 \pm 0,57$). Em outros estudos e até mesmo na primeira parte deste trabalho são relatados valores positivos mais elevados para este atributo, caracterizando uma maior intensidade de cor vermelha nas amostras.

Como já relatado anteriormente, a condição inicial da matéria-prima é de fundamental importância antes mesmo de pensarmos em um processamento. No presente estudo a CMSF fresca apresentou características iniciais de deteriorização mais acentuada, visto que as amostras controle não irradiadas (C) já apresentavam no 7º dia de armazenamento refrigerado um alto grau de oxidação lipídica, com consequente prejuízo das características organolépticas da carne, como cor e odor.

Para o atributo b^* percebe-se que a adição de antioxidantes 1 ou 2 possibilitaram uma maior intensidade deste atributo quando as amostras não foram irradiadas (A1 e A2), sendo os valores de b^* reduzidos quando as amostras foram adicionadas dos antioxidantes 1 ou 2 e irradiadas nas fonte de cobalto-60 ou acelerador de elétrons (A1Co, A1Ae, A2Co e A2Ae): diferenças significativas ($p < 0,05$) foram registradas em apenas alguns dias de armazenamento refrigerado, como mostram as figuras 28 C e 29 C.

Stetzer; Novakofski; Brewer (2009), concluíram de seus estudos sobre o efeito de antioxidantes (ácido cítrico e/ou alecrim) sobre a cor de um sistema modelo de mioglobina de carne irradiada que, as amostras contendo antioxidantes foram mais amarelas (+ b^*) e as amostras controle mais azuis (- b^*).

Figura 28 - Valores médios para intensidade de amarelo/azul (b^*) em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 1.

O dia zero de armazenamento refere-se ao primeiro dia de análise após a irradiação da CMSF. **A**- Fonte de Cobalto-60. **B** – Acelerador de elétrons. **C**- Comparação entre a fonte de Cobalto-60 e acelerador de elétrons. Amostra sem antioxidante e não irradiado (C), Com antioxidante 1 e não irradiado (A1), sem antioxidante e irradiado na Fonte de Cobalto-60 (Co), sem antioxidante e irradiado na fonte de acelerador de elétrons (Ae), com antioxidante 1 e irradiado na fonte de Cobalto-60 (A1Co), com antioxidante 1 e irradiado em acelerador de elétrons (A1Ae). * $p < 0,05$; * e ** valores significativamente ($p < 0,05$) diferentes. $n = 3$. Fonte: Brito (2012).

Figura 29 - Valores médios para intensidade de amarelo/azul (b^*) em amostras de CMSF, irradiadas ou não, ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 2.

O dia zero de armazenamento refere-se ao primeiro dia de análise após a irradiação da CMSF. **A**- Fonte de Cobalto-60. **B** – Acelerador de elétrons. **C**- Comparação entre a fonte de Cobalto-60 e acelerador de elétrons. Amostra sem antioxidante e não irradiado (C), Com antioxidante 2 e não irradiado (A2), sem antioxidante e irradiado na Fonte de Cobalto-60 (Co), sem antioxidante e irradiado na fonte de acelerador de elétrons (Ae), com antioxidante 2 e irradiado na fonte de Cobalto-60 (A2Co), com antioxidante 2 e irradiado em acelerador de elétrons (A2Ae). * $p < 0,05$; * e ** valores significativamente ($p < 0,05$) diferentes. * e ** valores significativamente ($p < 0,05$) diferentes. $n = 3$. Fonte: Brito (2012).

5.2.6 Análise das Propriedades Funcionais

A qualidade de um alimento é definida pela sua composição, suas propriedades nutricionais e suas propriedades funcionais. As propriedades funcionais de uma matéria prima são as que determinam sua utilização (RIBEIRO; SERAVALLI, 2007).

A importância da avaliação das propriedades funcionais em matérias-primas para produtos cárneos, produtos cominuídos e emulsionados tem sido extensivamente relatada na literatura (DOGBEVI; VACHON; LACROIX, 1999; FELÍCIO, 2006; LACROIX et al., 2000; LATREILLE et al., 1993; OZIMEK et al., 1986; POLÔNIO, 1994; TRINDADE; CASTILLO; NUNES, 2003).

As propriedades funcionais de proteínas são definidas como as propriedades físico-químicas que afetam seu comportamento em sistemas alimentares durante o preparo, processo, armazenamento, consumo e contribuem para a qualidade e para atributos sensoriais dos alimentos (RIBEIRO; SERAVALLI, 2007).

5.2.6.1 pH

As determinações de pH para as amostras de CMSF irradiadas ou não, adicionadas de antioxidante ou não ao longo do armazenamento refrigerado, estão apresentadas nas figuras 30 e 31.

Avaliando os valores de pH ao longo do armazenamento refrigerado, é possível perceber um aumento deste valor para todas as amostras analisadas, exceto para as amostras adicionadas de antioxidante 1 e irradiadas na fonte de cobalto (A1Co).

As amostras sem antioxidante e não irradiadas (C) apresentaram menor valor de pH ($p < 0,05$) quando o resultado observado no 2º dia de armazenamento refrigerado foi comparado aos registrados em amostras irradiadas adicionadas ou não de antioxidante (Co, Ae, A1Co, A1Ae, A2Co e A2Ae), como mostram as figuras 31A e B e 32A e B.

Os valores de pH para as amostras adicionadas de antioxidante 1 e irradiadas na fonte de cobalto (A1Co) foram significativamente ($p < 0,05$) maiores do que os

obtidos para todas as outras amostras analisadas no 1º dia de armazenamento refrigerado (D0) (Figura 30 A).

Pollonio (1994) relatou aumento significativo de pH de 0,3 e 0,4 unidades em amostras de CMSF com pele e sem pele quando estas amostras receberam a adição de polifosfato.

A partir do 2º dia de armazenamento refrigerado as amostras adicionadas de antioxidante 1 e irradiadas na fonte de cobalto-60 (^{60}Co) apresentaram comportamento semelhantes às outras amostras analisadas que tiveram seus valores de pH ligeiramente ácido para neutro, ao longo do armazenamento refrigerado.

Miyagusku (2008) relatou uma tendência para elevação de pH em amostras de peito e coxa de frango ao longo do armazenamento refrigerado e relacionou esta tendência com o crescimento de microrganismos deterioradores como *Pseudomonas* spp que são bactérias indicadoras importantes do processo de deterioração, através da produção de amônia e aminas provenientes de uréia e aminoácidos: produtos que acabam por aumentar o pH.

Figura 30 - Valores de pH para amostras de CMSF, irradiadas ou não, , ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 1.

O dia zero de armazenamento refere-se ao primeiro dia de análise após a irradiação da CMSF. **A**- Fonte de Cobalto-60. **B** – Acelerador de elétrons. **C**- Comparação entre a fonte de Cobalto-60 e acelerador de elétrons. Amostra sem antioxidante e não irradiado (C), Com antioxidante 1 e não irradiado (A1), sem antioxidante e irradiado na Fonte de Cobalto-60 (Co), sem antioxidante e irradiado na fonte de acelerador de elétrons (Ae), com antioxidante 1 e irradiado na fonte de Cobalto-60 (A1Co), com antioxidante 1 e irradiado em acelerador de elétrons (A2Ae). * $p < 0,05$; * e ** valores significativamente ($p < 0,05$) diferentes. $n = 3$. Fonte: Brito (2012).

Figura 31 - Valores de pH para amostras de CMSF, irradiadas ou não, , ao longo do armazenamento refrigerado, adicionadas ou não de antioxidante 2.

O dia zero de armazenamento refere-se ao primeiro dia de análise após a irradiação da CMSF. A- Fonte de Cobalto-60. B – Acelerador de elétrons. C- Comparação entre a fonte de Cobalto-60 e acelerador de elétrons. Amostra sem antioxidante e não irradiado (C), Com antioxidante 1 e não irradiado (A1), sem antioxidante e irradiado na Fonte de Cobalto-60 (Co), sem antioxidante e irradiado na fonte de acelerador de elétrons (Ae), com antioxidante 1 e irradiado na fonte de Cobalto-60 (A1Co), com antioxidante 1 e irradiado em acelerador de elétrons (A2Ae). * $p < 0,05$; * e ** valores significativamente ($p < 0,05$) diferentes. $n = 3$. Fonte: Brito (2012).

5.2.6.2 Extração de Proteína Miofibrilar

As proteínas miofibrilares foram extraídas para que as análises de solubilidade protéica e capacidade de emulsificação fossem realizadas. Na figura 33, encontram-se os valores médios obtidos para proteínas miofibrilares extraídas em 100g de amostra de CMSF.

Não foram encontradas diferenças significativas ($p > 0,05$) entre todas as amostras analisadas, não havendo influência do tratamento de radiação ou da adição de antioxidantes para a extração de proteínas miofibrilas da CMSF (Figura 32).

Figura 32 - Valores médios em grama de extração de proteína miofibrilar em amostras de CMSF irradiadas ou não, adicionadas ou não de antioxidantes.

Amostra sem antioxidante e não irradiado (C), Com antioxidante 1 e não irradiado (A1), com antioxidante 2 e não irradiado (A2), sem antioxidante e irradiado na Fonte de Cobalto-60 (Co), sem antioxidante e irradiado na fonte de acelerador de elétrons (Ae), com antioxidante 1 e irradiado na fonte de Cobalto-60 (A1Co), com antioxidante 2 e irradiado na fonte de Cobalto-60 (A2Co), com antioxidante 1 e irradiado em acelerador de elétrons (A1Ae) e com antioxidante 2 e irradiado em acelerador de elétrons (A2Ae). $n = 3$.
Fonte: Brito (2012).

5.2.6.3 Solubilidade Proteica

A porcentagem de solubilidade proteica é o primeiro índice a ser determinado na avaliação do grau de desnaturação de uma proteína e está relacionada com a maioria das outras propriedades funcionais (KINSELLA, 1976).

Os resultados apresentados na figura 33 indicam que o processo de irradiação aumentou significativamente ($p < 0,05$) a solubilidade das proteínas miofibrilares. As amostras sem adição de antioxidante e irradiadas nas fontes de cobalto-60 (Co) e as amostras sem adição de antioxidante e irradiadas na fonte de acelerador de elétrons (Ae) apresentaram valores médios de $36,13 \% \pm 1,93$ e $44,83 \pm 1,93$, respectivamente; enquanto as amostras sem antioxidante e não irradiadas (C) apresentaram valor médio de $30,61\% \pm 1,93$.

A degradação de proteínas que se tornam proeminentes em altas doses de radiação ionizante podem envolver desaminação, descarboxilação, redução de ligações dissulfídicas, oxidação de grupos sulfídricos e alteração na ligação de peptídeos. A irradiação pode envolver quebra ou uma cisão nas cadeias polipeptídicas, aumentando a solubilidade das proteínas e afetando a atividade enzimática em doses relativamente baixas (1,5 kGy) (LACROIX et al., 2000).

A avaliação das características de solubilidade de uma proteína é uma das medidas mais práticas da avaliação da desnaturação-agregação proteica. Além disso, as proteínas existentes inicialmente em um estado de desnaturação, parcialmente agregado, mostram frequentemente uma queda na capacidade de geleificação, emulsificação ou formação de espumas. Para que as proteínas tenham uma boa atividade de emulsão, espumas e géis, a solubilidade inicial deverá ser bastante elevada (CHEFTEL; CUQ; LORIENT, 1989).

As amostras de CMSF analisadas apresentaram de uma maneira geral baixas porcentagens de solubilidade proteica. Pollonio (2004) também encontrou baixos valores para solubilidade proteica em amostras de CMSF com pele, levantando a hipótese do alto teor de gordura presente na CMSF ser o responsável pelo decréscimo na solubilidade, pois há relatos que a actina e a miosina presentes, ligam-se a lipídios durante a extração do tecido muscular (SHEHOUDA; PIGOT, 1974, 1976).

Os melhores índices para a variável solubilidade proteica foram encontrados nas amostras adicionadas de antioxidante 2 e irradiadas na fonte de cobalto-60 (A2Co), amostras sem adição de antioxidantes e irradiadas em acelerador de elétrons (Ae), amostras adicionadas da mistura de antioxidante1 e irradiadas na fonte de acelerador de elétrons (A1Ae), e amostras que receberam a adição de antioxidante 2 e não foram irradiadas (A2) aos quais tiveram valores médios de $40,87\% \pm 7,41$, $44,43 \pm 1,93$, $45,44\% \pm 4,68$ e $51,84\% \pm 7,41$, respectivamente.

As análises de solubilidade proteica do presente estudo foram realizadas após o processo de irradiação das amostras. Para este período inicial (D0) todas as amostras de CMSF analisadas apresentaram baixos valores de TBARS, não havendo, portanto uma possível interferência do aumento da oxidação lipídica nesse atributo.

Analisando a Figura 34 A e B percebe-se que as amostras não adicionadas de antioxidante e irradiadas em fonte de cobalto-60 (Co) apresentaram maiores índices de solubilidade quando comparadas às amostras C. Além disso, a adição de antioxidante 1 nas amostras de CMSF irradiadas ou não (A1Co, A1Ae e A1) não foi capaz de contribuir positivamente na solubilidade proteica. A adição de antioxidante 2 nas amostras de CMSF causou melhora significativa na solubilidade proteica das amostras que não foram irradiadas (A2), quando comparada à amostra controle sem irradiar (C), mas essa melhora não foi significativa ($p > 0,05$) quando as amostras foram irradiadas na fonte de cobalto-60 e acelerador de elétrons (A2Co e A1Ae).

Figura 33 - Valores médios de porcentagem de solubilidade protéica em amostras de CMSF.

A- Amostras adicionadas da mistura de antioxidantes 1 . **B-** Amostras adicionadas da mistura de antioxidantes 2. Amostra sem antioxidante e não irradiado (C), Com antioxidante 1 e não irradiado (A1), com antioxidante 2 e não irradiado (A2), sem antioxidante e irradiado na Fonte de Cobalto-60 (Co), sem antioxidante e irradiado na fonte de acelerador de elétrons (Ae), com antioxidante 1 e irradiado na fonte de Cobalto-60 (A1Co), com antioxidante 2 e irradiado na fonte de Cobalto-60 (A2Co), com antioxidante 1 e irradiado em acelerador de elétrons (A1Ae) e com antioxidante 2 e irradiado em acelerador de elétrons (A2Ae). n = 3.
Fonte: Brito (2012).

5.2.6.4 *Índice de Atividade de Emulsão*

Observando-se os resultados apresentados na figura 34 é possível afirmar que a adição de antioxidantes contribuiu para menores valores ($p < 0,05$) de índice de atividade de emulsificação em amostras não irradiadas sendo que os valores médios registrados foram de $11,61 \pm 2,18$ para A1 e $11,48 \pm 2,18$ para A2.

Quando as amostras foram irradiadas sem a adição de antioxidantes não se observa um decréscimo acentuado nos valores de índice de emulsão quando comparamos às amostras controle sem irradiar, sendo essa diferença significativa ($p < 0,05$) somente quando comparados os valores registrados para amostras irradiadas em acelerador de elétrons (Ae) e amostras controle sem irradiar (C). As amostras irradiadas nas fontes de cobalto-60 (Co) e acelerador de elétrons (Ae) apresentaram valores médios de índice de atividade de emulsão de $19,52 \pm 1,11$ e $16,28 \pm 2,64$, respectivamente, enquanto as amostras controle sem irradiar (C) apresentaram valores médios de $23,6 \pm 2,31$.

Estes resultados estão de acordo com os resultados encontrados por Lacroix et al. (2000) que estudaram a qualidade proteica de lombo de porco e não encontraram diferenças significativas para a capacidade de emulsão das amostras irradiadas com diferentes taxas de dose em fonte de cobalto-60 (taxa de 2 kGy/h e 20 kGy/h) e amostras controle, embaladas em condições aeróbicas.

Dentre os tratamentos que receberam adição de antioxidantes e foram irradiados, as amostras que receberam a adição da mistura de antioxidante 1 foram as que apresentaram maiores valores médios para índice de atividade de emulsão, sendo a fonte de cobalto-60 a de melhor índice. As amostras adicionadas de antioxidante 1 e irradiadas na fonte de cobalto-60 (A1Co) apresentaram valores de $18,27 \pm 1,08$ enquanto, as amostras irradiadas nas fontes de acelerador de elétrons adicionada do mesmo antioxidantes (A1Ae) apresentaram valores de $15,12 \pm 2,63$, não havendo diferenças significativas ($p > 0,05$) entre as mesmas.

Figura 34 - Valores de índice de atividade de emulsão das proteínas miofibrilares extraídas de amostras de CMSF.

A- Amostras adicionadas da mistura de antioxidantes 1 . **B-** Amostras adicionadas da mistura de antioxidantes 2. Amostra sem antioxidante e não irradiado (C), Com antioxidante 1 e não irradiado (A1), com antioxidante 2 e não irradiado (A2), sem antioxidante e irradiado na Fonte de Cobalto-60 (Co), sem antioxidante e irradiado na fonte de acelerador de elétrons (Ae), com antioxidante 1 e irradiado na fonte de Cobalto-60 (A1Co), com antioxidante 2 e irradiado na fonte de Cobalto-60 (A2Co), com antioxidante 1 e irradiado em acelerador de elétrons (A1Ae) e com antioxidante 2 e irradiado em acelerador de elétrons (A2Ae).

Fonte: Brito (2012).

O índice de atividade de emulsão é baseado na relação entre a turbidez de uma emulsão e sua área interfacial, que pode por sua vez estar relacionada à capacidade da proteína adsorver e estabilizar interface óleo-água (KINSELLA, 1976).

Os resultados encontrados podem ser justificados pela adição de fosfatos contidos na mistura de antioxidantes 1. Os polifosfatos aumentam a força iônica do meio e com isso elevam a capacidade de retenção de água através do fortalecimento da capacidade de ligação, promovendo melhora na textura e maior estabilidade do material cru. Além disso, os fosfatos aumentam a capacidade de emulsificação de gorduras com as proteínas miofibrilares. Tal aumento da capacidade de emulsificação é resultado da solubilização dos polifosfatos e dissociação da actinmiosina em actina + miosina, os quais dissociados podem emulsificar mais gordura (PEARSON; GILLET, 1996).

No presente estudo, não foram verificadas correlação entre as amostras adicionadas de polifosfato, irradiadas ou não, para os parâmetros de índice de atividade de emulsão e solubilidade protéica.

A avaliação das proteínas quanto às suas propriedades funcionais é um problema bastante complexo por causa da grande diversidade de estruturas e conformações e de possíveis interações com outros componentes dos alimentos como lipídios, carboidratos, águas, íons e outras proteínas (RIBEIRO; SERAVALLI, 2007).

Atualmente são escassos na literatura, estudos que avaliem os efeitos da irradiação sobre as propriedades funcionais em diferentes tipos de carnes, principalmente sobre a CMSF. São necessários estudos que possam aplicar o uso desta tecnologia, adicionados de ferramentas como embalagens com atmosfera modificadas e/ou aplicação de antioxidantes, não somente para avaliar as propriedades funcionais em CMSF irradiada, mas também em produtos cárneos formulados com este tipo de tecnologia, ao longo do armazenamento refrigerado ou congelado.

6 CONCLUSÕES

Analisando em conjunto os resultados obtidos para todas as variáveis avaliadas na primeira parte deste estudo, ou seja, bactérias psicrotróficas, oxidação lipídica, cor e análise sensorial verificou-se que dentre as taxas de dose testadas, a taxa de dose de 4,04 kGy.h⁻¹ foi considerada a melhor para o processamento de CMSF.

Dentre as combinações de antioxidantes testadas, somente a associação de antioxidante alecrim e α -tocoferol foram capazes de diminuir a oxidação lipídica gerada pela irradiação das amostras de CMSF nas fontes de cobalto-60 (A2Co) e acelerador de elétrons (A2Ae), ao longo do armazenamento refrigerado.

O uso de antioxidantes alecrim associado a α -tocoferol e Eritorbato de sódio associado a Polifosfato de Sódio mostraram efeito sinérgico ao processamento com radiação na fonte de cobalto-60 (A1Co e A2Co) e acelerador de elétrons (A1Ae e A2Ae), na redução do crescimento de bactérias psicrotróficas, ao longo do armazenamento refrigerado da CMSF.

Durante o presente estudo não se detectou efeito do processo de irradiação sobre as propriedades funcionais (Solubilidade protéica e índice de atividade de emulsão) das amostras de CMSF, adicionadas ou não de antioxidantes.

Considerando-se todas as variáveis avaliadas neste estudo (oxidação lipídica, bactérias psicrotróficas, análise sensorial, análise de cor e propriedades funcionais), pode-se perceber um maior efeito da adição do antioxidante alecrim e α -tocoferol que da irradiação com diferentes taxas de dose de radiação, sobre as características de qualidade da CMSF.

7 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Analisar o efeito da irradiação com acelerador de elétrons e cobalto-60 sobre as características microbiológicas, sensoriais, oxidativas e funcionais, em amostras de CMSF irradiadas, adicionadas de antioxidantes, congeladas por um período de 90 dias.

Analisar a ação sinérgica de antioxidantes e radiação com fonte de cobalto-60 e acelerador de elétrons em diferentes tipos de microrganismos patogênicos e deterioradores de interesse para a indústria de alimentos.

Avaliar características tecnológicas de qualidade em salsicha formulada com CMSF irradiada, adicionada de antioxidantes α -tocoferol e vitamina E

Analisar o efeito da irradiação com acelerador de elétrons e cobalto-60 nas características microbiológicas, sensoriais, de oxidação lipídica e funcionais, em amostras de CMSF irradiadas em embalagens à vácuo, adicionadas de antioxidantes, mantidas em armazenamento refrigerado e sob congelamento por 90 dias.

Avaliação de óxidos de colesterol em CMSF irradiadas, adicionadas de antioxidante alecrim e α -tocoferol.

REFERÊNCIAS*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTOS E EXPORTADORES DE FRANGO (ABEF). **Exportação mundial de carne de frango**. Disponível em: <<http://www.abef.com.br/Estatisticas/MercadoMundial/MercadoMundial.php>>. Acesso em: 20 ago. 2010.

ASSOCIAÇÃO DOS AVICULTORES DE MINAS GERAIS (AVIMIG). Haja carne de frango. **Revista AVIMIG**, v. 7, n. 84, maio-jun 2008. Disponível em: <http://www.avimig.com.br/galeria_imagens/REVISTA_10072008_102948.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2010.

AVEWORLD. **Produção brasileira de frango está mais próxima dos Estados Unidos**. 22 nov. 2011. Disponível em: <<http://www.aveworld.com.br/noticias/post/producao-brasileira-de-frango-esta-mais-proxima-da-dos-eua>>. Acesso em: 26 abr. 2012.

AL-BACHIR, M.; ZEINOU, R. Effect of gamma irradiation on microbial load and quality characteristics of minced camel meat. **Meat Science**, v. 82, p. 119-124. 2009.

AHN, D. U. Meat irradiation and meat safety: prevention of quality changes in irradiated meat and meat products. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF MEAT SCIENCE AND TECHNOLOGY, 2003, Campinas. **Anais...** Campinas: UNICAMP, 2003. p. 81-90.

AHN, J.; GRÜN, I. U.; FERNANDO, L. N. Antioxidant properties of natural plant extracts containing polyphenolic compounds in cooked ground beef. **Food Chemistry and Toxicology**, v. 67, n. 4, p. 1364-1369, 2002.

BADR, H. M. Antioxidative activity of carnosine in gamma irradiated ground beef and beef patties. **Food Chemistry**, v. 104, p. 665-679, 2007.

BALDINI, F. Setor de corte e desossa. In: FUNDAÇÃO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE PINTO DE CORTE (APINCO). **Abate e processamento de frangos**. Campinas: FACTA, 1994. p. 25-30.

BARBUT, S. Poultry products: formulations and gelation. In: BARBUT, S. **Poultry products processing: an industry guide**. London: CRC Press, 2002. p. 249-289

BEAULIEU, M.; D'APRANO, G. D.; LACROIX, M. Effect of dose rate of gamma irradiation on biochemical quality and browning of mushroom Agaricus bisporus. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 63, p. 311-315. 2002.

BERAQUET, N. J. Carne mecanicamente separada de aves. In: SEMINÁRIO E CURSO TEÓRICO-PRÁTICO, 2000, Campinas. **Anais...** Campinas: ITAL, 2000.

*De acordo com:

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

BERSET, C.; CUVELIER, M. E. Methods of estimating the degree of lipid oxidation and measuring antioxidizing power. **Sciences des Aliments**, v. 16, p. 219, 1996.

BRASIL. Instrução normativa n.º 4 de 31 de março de 2000. Regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de carne mecanicamente separada, de mortadela, de linguiça e de salsicha. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 5 abr. 2000. Seção 1.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução RDC nº 21 de 26 de janeiro de 2001. **Regulamento técnico para irradiação de alimentos**. Brasília, jan 2001. Disponível em: <http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=161&mode=PRINT_VERSI...> Acesso em: 24 nov. 2007.

BREWER, M. S. Irradiation effects on meat flavor: a review. **Meat Science**, v. 81, p. 1-14, 2009a.

BREWER, M. S. The effects of irradiation on meat flavor: an overview. **Food Engineering & Ingredients**, v. 34, n. 4, p. 28-30. 2009b.

BREWER, S. Irradiation effects on meat color – a review. **Meat Science**, v. 68, p.1-17, 2004. doi: 10.1016/j.meatsci.2004.02.007.

BRITO, P. P.; AZEVEDO, H.; CIPOLLI, K. M. V. A. B.; FUKUMA, H. T.; MOURÃO, G. G.; ROQUE, C. V.; MIYA, N. T.; PEREIRA, J. L. Effect of the gamma radiation dose rate on psychrotrophic bacteria, thiobarbituric acid reactive substances, and sensory characteristics of mechanically deboned chicken meat. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 2, p. S133-S138, 2011.

CARVALHO, A. C. F. B.; CORTEZ, A. L. L. Salmonella spp. Em carcaças, carne mecanicamente separada, linguiças e cortes comerciais de frango. **Ciência Rural**, v. 35, n. 6, p. 1465-1468, 2005.

CHEFTEL, J. C; CUQ, J. L.; LORIENT, D. **Proteínas Alimentarias**. Zaragoza: Editorial Acribia, 1989. 346 p.

CONTRERAS-CASTILLO, C. J.; TRINDADE, M. A.; DE FELÍCIO, P. E. Physical and chemical characterisation os spent hens mechanically meat (MSHM) from the Braziliam production. **Actia Alimentaria**, v. 37, n. 2, p. 283-291, 2008. doi: 10.1556/AAlim.37.2008.2.13.

DIEHL, J. F. **Safety of irradiated foods**. New York: Marcel Dekker, 1990. 345 p.

DIEJL, J. F. **Safety of irradiated foods**. 2nd ed. New York: Marcell Dekker, 1995. 454 p.

DOGBEVI, M. K.; VACHON, C.; LACROIX, M. Physicochemical and microbiological changes in irradiated fresh pork loins. **Meat Science**, v. 51, p. 349-354, 1999.

DU, M.; AHN, D. U. Effect of antioxidants on the quality of irradiated sausages prepared with Turkey thigh meat. **Poultry Science**, v. 81, p. 1251-1256, 2002.

DU, M.; AHN, D. U.; NAM, K. C.; SELL, J. L. Influence of dietary conjugated linoleic acid on volatile profiles, color and lipid oxidation of irradiated raw chicken meat. **Meat Science**, v. 56, p. 387-395, 2000.

FARFAN, J. A. **Química de proteínas aplicada à ciência e tecnologia dos alimentos**. Campinas: UNICAMP, 1985. 106 p.

FARKAS, J. Combination of Irradiation with mild heat treatment. **Food Control**, v. 1, p. 223-229, 1990.

FENEMMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. **Fenemma's food chemistry**. 4th ed. Boca Raton: CRC Press, 2007. 1100 p.

FERNÁNDEZ, J.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J. A.; FERNÁNDEZ-LOPES, J. A. Thiobarbituric acid test for monitoring lipid oxidation in meat. **Food Chemistry**, v. 59, n. 3, p. 345-353, 1997.

FIELD, R. A. Mechanically separated meat, poultry and fish. Edible meat by-products: advances in meat research. **Elsevier Applied Science**, v. 5, p. 83-126, 1988.

FOEGEDING, E. A. Functional properties of turkey salt-soluble proteins. **Journal of Food Science**, v. 52, n. 6, p. 1495-1499, 1987.

FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. **Microbiologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1996. 182 p.

FRONING, G. W. Mechanically-deboned poultry meat. **Food Technology**, v. 30, p. 50-63, 1976.

FRONING, G. W.; MCKEE, S. R. Mechanical separation of poultry meat and its use in products. **Poultry Meat Processing**. Boca Raton: Lewis Publishers, 2001. Cap. 14, p. 234-256.

GENERAL ACCOUNTING OFFICE (GAO). **Food Irradiation: available research Indicates that benefits outweigh risks**. GAO/RCED-00217. Washington, D. C: General Accounting Office, 2000.

GEORGANTELIS, D.; KATIKOUP, P.; AMBROSIADIS, I.; FLETOURIS, D. J. Effect of rosemary extract, chitosan and α -tocopherol on microbiological parameters and lipid oxidation of fresh pork sausages stored at 4°C. **Meat Science**, v. 76, n. 2, p. 172-181, 2007.

GERMANO, P. M.; GERMANO, M. I. S. **Higiene e vigilância sanitária de alimentos**. 3. ed. Barueri: Manole, 2008. 986 p.

GOMES, H. A. **Estudo do efeito da radiação gama sobre a qualidade microbiológica, a oxidação lipídica e as propriedades sensoriais da carne mecanicamente separada de frango, armazenada refrigerada e congelada.** 2002. 181 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2002.

GOMES, H. A.; SILVA, E. N. Effects of ionizing radiation on mechanically deboned chicken meat during frozen storage. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 270, n. 1, p. 225-229, 2006.

GOMES, H. A.; SILVA, E. N.; CARDELLO, H. M. A. B.; CIPOLLI, K. M. V. A. B. Effect of gamma radiation on refrigerated mechanically deboned chicken meat quality. **Meat Science**, v. 63, p. 919-926, 2003a.

GOMES, H. A.; SILVA, E. N.; NASCIMENTO, M. R. L.; FUKUMA, H. T. Evaluation of the 2-thiobarbituric acid method for the measurement of lipid oxidation in mechanically deboned gamma irradiated chicken meat. **Food Chemistry**, v. 80, p. 433-437, 2003b.

GRANT, I. R.; NIXON, C. R.; PATTERSON, M. F. Effect of low-dose irradiation on growth of toxin production by *Staphylococcus aureus* and *Bacillus cereus* in roast beef and gravy. **International Journal of Microbiology**, v. 18, p. 25-36, 1993.

GUILLÉN-CASLA, V.; ROSALES-CONRADO, N.; LEÓN-GONZÁLEZ, M. E.; PÉREZ-ARRIBAS, L. V.; POLO-DÍEZ. Principal componente analysis (PCA) and multiple linear regression (MLR) statistical tools to evaluate the effect e-beam irradiation on ready-to-eat food. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, p. 456-164, 2011. doi: 10.1016/j.jfca.2010.11.010.

GUNES, G.; OZTURK, A.; YILMAZ, N.; OZCELIK, B. Maintenance of safety and quality of refrigerated ready-to-cook seasoned ground beef product (meatball) by combining gamma irradiation with modified atmosphere packaging. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 6, p. M413-M420, 2011. doi: 10.1111/j.1750-3841.2011.02244.x.

HALLIWELL, B.; GUTTERIDGE, J. M. C. Role of free radicals and catalytic metals ions in human diseases: an overview. **Methods Enzymology**, v. 186, n. 1, p. 1-85, 1990.

HENRY, F. C.; SILVA, T. J. P.; FRANCO, R. M.; FREITAS, M. Q.; DE JESUS, E. F. O. Effect of gamma radiation on frozen turkey breast meat quality. **Journal of Food Safety**, v. 30, p. 615-634, 2010. doi: 10.1111/j.1745-4565.2010.0029.x.

HORWITZ, W. (Ed). **Official methods of analysis of the association of the AOAC international**. 17. ed. Maryland: AOAC International, 2000. vol. 1-2.

INTERNATIONAL COMISSION ON MICROBIOLOGICAL SPECIFICATIONS FOR FOODS (ICMSF). Ionizing irradiation. In:_____. **Microbial ecology of foods: factors affecting life and death of microorganism**. Zaragoza: Acribia, 1980. p. 46-69.

INTERNATIONAL CONSULTATIVE GROUP ON FOOD IRRADIATION (ICGFI). **International atomic energy agency**: the development of x-ray machines for food irradiation. Proceedings of a consultant's meeting. Vienna, Austria: ICGFI, 1995.

ISMAIL, H. A.; LEE, E. J.; KO, K. Y.; AHN, D. U. Effects of aging time and natural antioxidants in the color, lipid oxidation and volatiles of irradiated ground beef. **Meat Science**, v. 80, p. 582-591, 2008.

ISMAIL, H. A.; LEE, E. J.; KO, K. Y.; AHN, D. U. Fat content influences the color, lipid oxidation and volatiles of irradiated ground beef. **Journal of Food Science**, v. 74, n. 6, p. 432-440, 2009a.

ISMAIL, H. A.; LEE, E. J.; KO, K. Y.; PAIK, H. D.; AHN, D. U. Effect of antioxidant application methods on the color, lipid oxidation, and volatiles of irradiated ground beef. **Journal of Food Science**, v. 74, n. 1, p. 25-31, 2009b.

JAVANMARD, M.; ROKNI, N.; BOKAIE, S.; SHAHHOSSEINI, G. Effects of gamma irradiation and frozen storage on microbial, chemical and sensorial quality of chicken meat in Iran. **Food Control**, v. 17, p. 469-473, 2006.

KANATT, S. R.; PAUL, P.; D'SOUZA, S. F.; THOMAS, P. Lipid peroxidation in chicken meat during chilled storage as affected by antioxidants combined with low-dose gamma irradiation. **Journal of Food Science**, v. 63, n. 2, p. 198-200, 1998.

KINSELLA, J. E. Functional properties of protein in foods: a survey. **CRC Critical Reviews in Food Science & Nutrition**, v. 77, p. 219-280, 1976.

KUMAR, S.; PEDERSEN-WISMER, J.; CASPERSEN, C. Effect of raw materials deboning methods of chemical additives on microbial quality of mechanically deboned poultry meat during frozen storage. **Journal of Food Science and Technology**, v. 23, n. 4, p. 217-220, 1986.

LABUZA, T. P. Kinetics of lipid oxidation in foods. **Critical Review in Food Technology**, v. 10, p. 355-405, 1971.

LACROIX, M.; OUATTARA, B. Combined Industrial processes with irradiation to assure innocuity and preservation of food products: a review. **Food Research International**, v. 33, p. 719-724, 2000.

LACROIX, M.; SMORAGIEWICZ, W.; JOBIN, M.; LATREILLE, B.; KRZYSTYNIAK, K. **Meat Science**, v. 56, p.31-39, 2000.

LACROIX, M.; SMORAGIEWICZ, W.; PAZDERNIK, L.; KONE, M. I.; KRZYSTYNIAK. Prevention of lipid radiolysis by natural antioxidants from rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) and Thyme (*Thymus vulgaris* L.) **Food Research International**, v. 30, n. 6, p. 457-462, 1997.

LATREILLE, B.; LACROIX, M.; ICART, L.; SIMARD, C.; GAGNON, M. Effect of dose and dose-rate of irradiation on emulsifying capacity of chicken proteins. **Sciences des Aliments**, v. 13, p. 97-107, 1993.

LAWRIE, R. A. **Lawrie's Meat Science**. 3rd ed. Cambridge: Woodhead Publishing Ltda, 1998. 367 p.

LEE, T. G.; WILLIAMS, S. K.; SLOAN, D.; LITELL, R. Development and evaluation of a chicken breakfast sausage manufactured with mechanically deboned chicken meat. **Poultry Science**, v. 76, p. 415-421, 1997.

LEE, E. J.; AHN, D. U. Quality characteristics of irradiated turkey breast rolls formulated with plum extract. **Meat Science**, v. 71, p. 300-305, 2005. doi: 10.1016/j.meatsci.2005.03.017.

LEE, E. J.; LOVE, J.; AHN, D. U. Effect of Antioxidants on the consumer Acceptance of Irradiated Turkey Meat. **Journal of Food Science**, v. 68, n. 5, p. 1659-1663, 2003.

LI-CHAN, E.; NAKAI, S.; WOOD, D. F. Hydrophobicity and their relationship to emulsifying properties. **Journal Food Science**, v. 49, p. 345-350, 1984.

LIU, Y.; FAN, X; CHEN, Y. R.; THAYER, D. W. Change in structure and color characteristics of irradiated chicken breast as a function of dosage and storage time. **Meat Science**, v. 63, n. 3, p. 301-307, 2003.

LOPEZ-GONZALES, V.; MURANO, P. S.; BRENNAN, R. E.; MURANO, E. A. Influence of various comercial packaging conditions on survival of Escherichia coli O157:H7 to irradiation by eléctron beam versus gamma rays. **Journal of Food Protection**, v. 62, p. 10-15, 1999.

LOWRI, P. D.; GILL, C. O. Microbiology of frozen and meat products. **Microbiology of frozen food**. London: Elsevier Applied Science, 1985. cap. 4, p. 109-168.

MAHOUR, A.; LACROIX, M.; NKETSA-TABIRI, J.; CALDERON, N.; GAGNON, M. Antimicrobial properties of natural substances in irradiated fresh poultry. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 52, p. 81-84, 1998.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. **Sensory evaluation techniques**. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 1999. 387 p.

MIRSHEKAR, R.; DASTAR, B.; SHABANPOUR, B. Effect of rosemary, Echinacea, green tea extracts and ascorbic acid on broiler meat quality. **Pakistan Journal of Biology Sciences**, v. 12, n. 15, p. 1069-1074, 2009.

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**. 2008. 181 f. Tese. (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

MIYAGUSKU, L.; CHEN, F.; LEITAO, 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.

MOHAMED, H. M .H.; MANSOUR, H. A. Incorporating essential oils of marjoram and rosemary in the formulation of beef patties manufactured with mechanically deboned poultry meat to improve the lipid stability and sensory attributes. **Food Science and Technology**, v. 45, p. 79-87, 2012. doi: 10.1016/j.lwt.2011.07.031.

MOHAMED, H. M. H.; MANSOUR, H. A.; DIAA EL-DIN, M.; FARAG, H. The use of natural herbal extracts for improving the lipid stability and sensory characteristics of irradiated ground beef. **Meat Science**, v. 87, p. 33-39, 2011. doi: 10.1016/j.meatsci.2010.06.026.

MOLINS, R. A.; MOTARJEMI, Y.; KÄFERSTEIN, F. K. Irradiation: a critical control point in ensuring the microbiological safety of raw foods. **Food Control**, v. 12, p. 347-356, 2001.

MOLLER, J. K.; SKIBSTED, L. H. Myoglobins – the link between discoloration and lipid oxidation in muscle and meat. **Química Nova**, v. 29, n. 6, p. 1270-1278, 2006.

MONK, J. D.; BEUCHAT, L. R.; DOYLE, M. P. Irradiation inactivation of food-borne microorganism. **Journal of Food Protection**, v. 58, n. 2, p. 197-208, 1995.

MOSKOWITZ, H. R. **Product testing and sensory evaluation of foods**. Westport, Conn: Food and Nutrition Press, 1983. 605 p.

NAIR, V.; TURNER, G. The tiobarbituric acid test for lipid peroxidation. Structure of the adduct with malondialdehyde. **Lipids**, v. 19, p. 804-805, 1984.

NAM, K. C.; KO, K.Y.; MIN, B. R.; ISMAIL, H.; LEE, E. J.; CORDRAY, J.; AHN, D. U. Effects of oleoresin-tocopherol combinations on lipid oxidation off-odor, and color of irradiated raw and cooked pork patties. **Meat Science**, v. 75, p. 61-70. 2007.

NAWAR, W. W. Lipids. In: FENEMA, O. R (Ed). **Food Chemistry**. 3rd ed. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 225-319.

NEGRÃO, C. C.; MIZUBUTI, I. Y.; MORITA, M. C.; COLLI, C.; IDA, E. I.; SHIMOKOMAKI, M. Biological evaluation of mechanically deboned chicken meat protein quality. **Food Chemistry**, v. 90, p. 579-583. 2005. doi: 10.1016/j.foodchem.2004.05.017.

NÚCLEO DE ESTUDOS E PESQUISA EM ALIMENTAÇÃO (NEPA). **Tabela brasileira de composição de alimentos**: versão II. 2. ed. Campinas: NEPA-UNICAMP, 2006. 113p.

NUNES, T. P. **Efeito da pré-cura na estabilidade microbiológica de carne mecanicamente separada e elaboração de um produto reestruturado com filés de peito de galinha de descarte**. 2003. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Ciência e Tecnologia de Alimentos , Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

O'BRYAN, C. A.; CRANDALL, P. G.; RICKE, S. C.; OLSO, D. G. Impact of irradiation on the safety and quality of poultry and meat products: a review. **Critical Review in Food Science and Nutrition**, v. 48, p. 442-457. 2008. doi: 10.1080/10408390701425698.

OLSO, D. G. Irradiation of food. **Food Technology**, v. 52, n.1, p. 56-62, 1998.

OUATTARA, B.; SABATO, S. F.; LACROIX, M. Combined effect of antimicrobial coating and gamma irradiation on shelf life extension of pre-cooked shrimp (*Penaeus* spp.). **International Journal of Food Microbiology**, v. 68, p. 1-9, 2001.

OVER, K. F.; HETTIARACHCHY, A. V. S.; PERUMALLA, M. G.; MEULLENET, J. J. F.; DICKSON, J. S.; HOLTZBAUER, M. J.; NIEBUHR, S. E.; DAVIS, B. Antilisterial activity and consumer acceptance of irradiated chicken breast meat vacuum-infused with grape seed and green tea extracts and tartaric acid. **Journal of Food Science**, v. 75, n. 7, p. M455-M461, 2010. doi: 10.1111/j.1750-3841.2010.017227.x.

OZIMEK, G.; JELEN, P.; OZIMEK, L.; SAUER, W.; McCURDY, S.M. A comparison of mechanically separated and alkali extracted chicken protein for functional and nutritional properties. **Journal of Food Science**, v. 52, n. 3, p. 748-752, 1986.

PARK, J. G.; YOON, Y.; PARK, J. N.; HAN, I. J.; SONG, B. S.; KIM, W. G.; HWANG, H. J.; HAN, S. B.; LEE, J. W. Effects of gamma irradiation and electron beam irradiation on quality, sensory, and bacterial populations in beef sausage patties. **Meat Science**, v. 85, p. 368-372, 2010. doi: 10.1016/j.meatsci.2010.01.014.

PAQUIN, M. Results de l'irradiation des viands separees mecaniquement. **RTVA**, p. 43-46, 1985.

PEARCE, K. N.; KINSELLA, J. E. Emulsifying properties of proteins: evaluation of turbidimetric technique. **Journal Agriculture of Food Chemistry**, v. 26, p. 716-722, 1978.

PIKUL, J.; LESZCZYNSKI, D. E.; KUMMEROW, F. A. Elimination of sample autoxidation by butylated hidroxytoluene additions before thiobarbituric acid assay malonaldehyde in fat from chicken meat. **Journal Agricultural Food Chemistry**, v. 31, p. 1338-1342, 1983.

POLLONIO, M. A. R. **Estudo das propriedades funcionais das proteínas miofibrilares e oxidação lipídica de carne de frango mecanicamente separada**. 1994. 141 f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1994.

RABABAH, N. S.; HETTIARACHCHY, R.; HORAX, R.; CHO, M. J.; DAVIS, B.; DICKSON, J. Thiobarbituric acid reactive substances and volatile compounds in chicken breast meat infused with plant extracts and subjected to electron beam irradiation. **Poultry Science**, v. 85, p. 1107-1113, 2006.

RAMALHO, V. C.; JORGE, N. Antioxidantes utilizados em óleos, gorduras e alimentos gordurosos. **Química Nova**, v. 29, n. 4, p. 1-11, 2006.

RAMAMOORTHY, L.; TOSHKOV, S.; STETZER, A.; TUCKER, E. V. E.; BREWER, M. S. Effects of antioxidants on irradiated beef color. *Journal of Food Quality*, v. **Journal of Food Quality**, v. 33, n. 3, p. 283-298, 2010. doi: 10.1111/j.1745-4557.2010.00296.x

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Blücher, 2007. 184 p.

ROBARDS, K.; KERR, A. F.; PATSALIDES, E. A. Rancidity and its measurement in edible oils and snack foods. A review. **The Analyst**, v. 113, p. 213, 1988.

SAMS, A. R. **Poultry meat processing**. Boca Raton: CRC Press, 2001. 333 p.

SILVEIRA, E. T. F. **Produção de carne de frango mecanicamente separada**. (Curso de curta duração ministrado/Extensão). Campinas: CTC/ITAL, 1994.

SILVEIRA, S. M.; MILANI, I. S.; MENEZES, C. R.; TERRA, N. N.; FRIES, L. L. M. Métodos biológicos para a conservação da carne mecanicamente separada de Frango. **Higiene Alimentar**, v. 17, p. 25-30, 2003.

SHAHIDI, F. **Flavor of meat and meat products**. London: Blackie, 1994. 298 p.

SHAHIDI, F. **Flavor of meat and meat products**. London: BAP, 1997.

SHAHIDI, F.; HONG, C. **Flavor of meat, meat products and seafoods**. 2nd ed. London: BAP, 1998. 429 p.

SHAHIDI, F.; HONG, C. Evaluation of malonaldehyde as a marker of oxidative rancidity in meat products. **Journal Food Biochemistry**, v. 15, p. 97-105, 1991.

SHAHIDI, F.; JANITHA, P. K.; WANASUNDARA, P. D. Phenolic antioxidants. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 32, n. 1, p. 67-103, 1992.

SHENOUDA, S.; PIGOT, G. Electron paramagnetic resonance studies of actin-lipid interaction in aqueous media. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 24, n. 1, p. 11-16, 1976.

SHENOUDA, S.; PIGOT, G. Lipid-protein interaction during aqueous extraction of fish protein: myosin-lipid interaction. **Journal of Food Science**, v. 39, p. 726-734, 1974.

SILVA, F. A. M.; BORGES, M. F. M.; FERREIRA, M. A. Método para avaliação do grau de oxidação lipídica e da capacidade antioxidante. **Química Nova**, v. 22, n. 1, 1999.

SMITH, D. M. Meat proteins: functional properties in comminuted meat products. **Food Technology**, v. 45, p. 116-121, 1988.

STETZER, A. J.; NOVAKOFSKI, J. E.; BREWER, S. A Research note: Effect of citric acid and/or rosemary extract on color of an irradiated beef myoglobin model system. **Journal of Muscle Foods**, v. 20, p. 28-36, 2009.

SOARES, S. E. Ácidos fenólicos como antioxidantes. **Revista de Nutrição**, v. 15, n. 1, p. 71-81, 2002.

SOFOS, J. N. Use of phosphates in low sodium meat products. **Food Technology**, v. 49, n. 9, p.52-69, 1986.

SOMMERS, C. H.; FAN, X. **Food irradiation research and technology**. Iowa: Blacwell Publishing and the Institute of Food Technology, 2006. 317 p.

SOUZA, A. R. M.; ARTHUR, V.; CANNIATI-BRAZACA, S. G. Alterações provocadas pela irradiação e armazenamento nos teores de ferro heme em carne de frango. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 2, p. 303-306, 2007.

SPOTO, M. H. F.; GALLO, C. R.; ALCARDE, A. R.; AMARAL GURGEL, M. S.; BLUMER, L.; WALDER, J. M. M.; DOMARCO, R. E. Gamma irradiation in the control of pathogenic bacteria in refrigerated ground chicken meat. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 3, p. 389-394, 2000.

ST ANGELO, A. J. Lipid oxidation in foods. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 36, p. 175-224. 1996.

STEFANOVA, R.; VASILEV, N. V.; SPASSOV, S. L. Irradiation of food, current legislation framework, and detection of irradiation foods. **Food Analytical Methods**, v. 3, p. 225-252, 2010. doi: 10.1007/s12161-009-9-9118-8.

TAJKARIMI, M. M.; IBRAHIM, S. A.; CLIVER, D. O. Antimicrobial herb and spice compounds in food. **Food Control**, v. 21, p. 1199-1218, 2010. doi: 10.1016/j.foodcont.2010.02.003.

TAKALA, P. N.; SALMIERI, K. D.; LACROIX, M. Effects of combined treatments of irradiation and antimicrobial coatings on reduction of food pathogens in broccoli florets. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 80, p. 1414-1418, 2011. doi: 10.1016/j.radphyschem.2011.07.005.

TARLADGIS, B. G.; WATTS, B. M.; YOUNATHAN, M. T. A. A distillation method for the quantitative determination of malonaldehyde in rancid foods. **Journal American Oil Chemists Society**, v. 37, p. 44-48, 1960.

TELLEFSON, C. S.; BOWERS, J. A. Effects of ascorbate and nitrite concentrations in turkey frankfurter-type products. **Poultry Science**, v. 60, p. 579-583, 1981.

THAYER, D. W.; BOYD, G. Gamma ray processing to destroy *Staphylococcus aureus* in mechanically deboned chicken meat. **Journal of Food Science**, v. 57, n. 4, 1992.

THAYER, D. W.; BOYD, G.; FOX, J. R.; LAKRITZ, L.; HAMSON, J. W. Variations in radiation sensitivity of food borne pathogens associated with the suspending meat. **Journal of Food Science**, v. 60, p. 63-67, 1995.

TOLEDO, M. C. F.; ESTEVES, W.; HARTMANN, V. E. M. Eficiência de antioxidantes em óleo de soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 5, n. 1, p. 1-11, 1985.

TOLEDO, T. C. F.; CANNIATTI-BRAZACA, S.; SPOTO, M. H. E.; ARTHUR, V. Sensory evaluation of chicken breast under gamma irradiation at commercial doses. **Journal of Food Science**, v. 70, n. 1, p. 8-12, 2005.

TOMPKIN, R. B.; CHRISTIANSEN, L. N.; SHAPARIS, A. B. Antitubulin role of isoascorbate in cured meat. **Journal of Food Science**, v. 45, n. 5, p. 1368-1370, 1978.

TRINDADE, M. A.; CASTILLO, C. J. C.; FELÍCIO, P. E. Mortadella sausage formulations with mechanically separated layers hen meat preblended with antioxidants. **Scentia Agrícola**, v. 63, n. 3, p. 240-245, 2006.

TRINDADE, M. A.; NUNES, T. P.; CONTRERAS_CASTILLO, C. J.; FELÍCIO, P. E. Estabilidade oxidativa e microbiológica em carne de galinha mecanicamente separada e adicionada de antioxidantes durante período de armazenamento a – 18 °C. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 160-168, 2008.

TRINDADE, R. A.; MANCINI-FILHO, J.; VILLAVICENCIO, A. L. C. H. Effects of natural antioxidants on the lipid profile of electron beam-irradiated beef burgers. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 111, p. 1161-1168, 2009.

TRINDADE, R. A.; MANCINI-FILHO, J.; VILLAVICENCIO, A. L. C. H. Natural antioxidants protecting irradiated beef burgers from lipid oxidation. **Food Science and Technology**, v. 43, p. 98-104, 2010.

TURGIS, M.; HAN, J.; BORSA, J.; LACROIX, M. Combined effect of natural oils modified atmosphere packaging, and gamma radiation on the microbial growth on ground beef. **Journal of Food Protection**, v. 71, n. 6, p. 1237-1243, 2008.

VANDERZANT, C.; SPLITTSTOESSER, D.F. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. Washington: American Public Association, 1992. 1219 p.

XAVIER, C. V. A.; BERAQUET, N. J. Vida-de-prateleira de carne mecanicamente separada de frango estocada sob refrigeração. **Coletânea Ital**, v. 24, n. 1, p. 91-104, 1994.

XIONG, Y. L.; BREKKE, C. J. Changes in protein solubility and gelation properties of chicken myofibrils during storage. **Journal of Food Science**, v. 54, p. 1141-1146, 1989.

WILDING, P., HEDGES, N., LILLFORD, P. J. Salt induced swelling of meat: the effect of storage time, pH, ion, type and concentration. **Meat Science**, v. 18, p. 55-61, 1986.

YILDIRIM, I.; UZUNLU, S.; TOPUZ, A. Effect of gamma irradiation on some principle microbiological and chemical quality parameters of raw Turkish meat ball. **Food Control**, v. 16, p. 363-367, 2005. doi: 10.1016/j.foodcont.2004.04.001.

YUN, H.; KIM, H. J.; JUNG, Y.; JUNG, S.; LEE, J. W.; JO, C. Effect of natural ingredients and red wine for manufacturing meat products on radiation sensitivity of pathogens inoculated into ground beef. **Korean Journal for Food Science of Animal resources**, v. 30, n. 5, p. 819-825, 2010.

YUNES, F. F. **Avaliação dos efeitos de óleos vegetais como substitutos de gordura animal em mortadela**. 2010. 103 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

ZHANG, H. Q.; BARBOSA-CÁNOAS, G.; BALASUBRAMANIAM, U. M.; DUNNE, C. P.; FARKAS, D. F.; YUNAN, T. C. **Nonthermal Processing Technologies for food**. Iowa: IFT Press and Wiley-Blackwell, 2011. 640 p.