



LUANNA APARECIDA SALES

**EFEITOS DA RADIAÇÃO GAMA E DO CONGELAMENTO
PRÉVIO À MATURAÇÃO SOBRE A COR E PERFIL DE
ÁCIDOS GRAXOS DA CARNE BOVINA**

LAVRAS - MG

2018

LUANNA APARECIDA SALES

**EFEITOS DA RADIAÇÃO GAMA E DO CONGELAMENTO PRÉVIO À MATURAÇÃO SOBRE
A COR E PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS DA CARNE BOVINA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos para obtenção do título de Mestre.

Orientadora

Dr^a. Alcinéia de Lemos Souza Ramos

LAVRAS – MG

2018

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Sales, Luanna Aparecida.

Efeitos da radiação gama e do congelamento prévios à maturação na cor e perfil de ácidos graxos da carne bovina / Luanna Aparecida Sales. - 2018.

84 p. : il.

Orientador(a): Alcinéia de Lemos Souza Ramos.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. Qualidade da carne. 2. Bos indicus. 3. Lipídeos. I. Ramos, Alcinéia de Lemos Souza. II. Título.

LUANNA APARECIDA SALES

**EFEITOS DA RADIAÇÃO GAMA E DO CONGELAMENTO NA COR E PERFIL
LIPÍDICO DA CARNE BOVINA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 06 de novembro de 2018.

Dr. Eduardo Mendes Ramos UFLA

Dr. Paulo Rogério Fontes UFV

Dr. Robledo de Almeida Torres Filho UFV

Dr^a. Alcinéia de Lemos Souza Ramos

Orientadora (UFLA)

LAVRAS – MG

2018

*A Deus, por ter me fortalecido e me sustentado.
Aos meus pais, Orlando (in memoriam) e Sirley, por serem minha base.
À minha irmã Priscila, pelo exemplo e carinho.
À minha avó Nazaré, pelo eterno amor.
Dedico*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, por me guiar para o caminho certo, e por não me deixar desistir.

Aos meus pais, Orlando (*in memoriam*) e Sirley, por serem os meus maiores incentivadores, pelo amor incondicional e por não medirem esforços para a minha felicidade. À minha irmã Priscila, pela amizade e por ser meu exemplo de determinação e persistência. À minha avó Nazaré, pelo amor e doçura. A toda a minha família, pelo apoio.

Aos meus amigos do LabCarnes, Gabi, Hewerton, Ana Paula, Letícia, Greicy, Lucas, Lívia, Bruna, Mayara e Angélica, por compartilharem ensinamentos e momentos felizes. Em especial à Lorena, minha companheira de trabalho, agradeço pela paciência, auxílio e amizade. Ao Douglas e ao Abel, por toda a disposição em me ajudar e pelo conhecimento. À Marielle, por dividir comigo todos os momentos desde o início, pelos conselhos, apoio, carinho e amizade.

Aos amigos que fiz durante esses anos, agradeço pelo suporte. À Claudine, por ser amiga confiante, conselheira e parceira. À Lorraine, por sempre me ouvir, e pelo carinho. À Ana Cássia, pela amizade, companheirismo e conselhos. À Lorena, que mesmo distante se faz presente e faz valer nossa amizade. À Nathália, por compartilhar tantos momentos e estar disposta a ajudar.

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Ciência dos Alimentos, pela oportunidade da minha formação acadêmica, e por fornecer toda a estrutura para que eu pudesse realizar este sonho.

Ao Centro de Desenvolvimento de Tecnologia no Nuclear (CDTN), em especial ao pesquisador Dr. Márcio Tadeu Pereira, à Lorraine e ao Omar, pela disposição em ajudar.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de Mestrado e ao CNPq (processo MCT 430206/2016-0) e à Fundação para a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG; processo CVZ APQ-02015-15) pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa.

À minha orientadora, professora Alcinéia Ramos, pelo acolhimento e disposição em ajudar e compartilhar ensinamentos.

Ao meu coorientador, professor Eduardo Mendes Ramos, agradeço por todo o conhecimento a mim transmitido, pela paciência e profissionalismo durante este tempo.

Ao professor Robledo Torres Filho, por ter aceitado participar da banca, e juntamente com sua esposa Vanelle, por ter me recebido tão bem em sua casa.

Aos professor Paulo Rogério, por ter aceitado participar da banca e por toda a contribuição para o enriquecimento deste trabalho.

Agradeço a todos que contribuíram para a conclusão desta etapa, pois sozinha, a caminhada se tornaria mais difícil.

“Tudo é do Pai, toda honra e toda a glória, é Dele a vitória, alcançada em minha vida”.

RESUMO

Objetivou-se avaliar os efeitos da radiação gama e do congelamento prévio à maturação sobre a coloração e perfil de ácidos graxos da carne bovina. Diferentes doses de irradiação (0, 3, 6 e 9 kGy) foram aplicadas em amostras congeladas (-18°C/24 h) e não-congeladas (4 °C) de contrafilés (*Longissimus thoracis et lumborum*), esquerdo e direito, de animais da raça Nelore (*Bos indicus*) e então maturadas (1°C) por 1 e 14 dias. As amostras congeladas foram descongeladas (4 °C/24 h) antes da maturação. As amostras foram avaliadas quanto ao pH, taxa de consumo de oxigênio (TCO), atividade redutora de metamioglobina (MRA), proporção de pigmentos heme e, cor instrumental (CELAB) e sensorial. As amostras não maturadas também foram avaliadas quanto a oxidação lipídica (substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico – TBARS; e índice de peróxidos - IP) e ao perfil de ácido graxos. Os valores de pH das amostras submetidas ao congelamento reduziram ($P < 0,05$) após 14 dias de maturação. O processo de congelamento reduziu ($P < 0,05$) os valores da TCO apenas no primeiro dia de maturação e os valores da MRA em ambos os tempos. A MRA das amostras não congeladas reduziu ($P < 0,05$) com a aplicação de maiores doses de irradiação. Maiores doses de irradiação implicaram em uma maior redução ($P < 0,05$) na proporção de oximioglobina das amostras congeladas do que nas não-congeladas. A proporção de metamioglobina aumentou ($P < 0,05$) com maiores doses de irradiação e com o tempo de maturação. Maiores doses de irradiação reduziram ($P < 0,05$) os valores de tonalidade da cor das amostras congeladas, mas não afetaram ($P > 0,05$) a cor das amostras não-congeladas. Os consumidores perceberam as amostras não-congeladas irradiadas por 9 kGy como sendo as mais claras, independentemente do tempo de maturação. Maiores doses de irradiação implicaram ($P < 0,05$) em maiores valores de TBARS e as amostras congeladas em menores ($P < 0,05$) valores de IP. Foi verificado uma redução ($P < 0,05$) no teor de ácidos graxos insaturados, especialmente da série ômega 3, com a aplicação de maiores doses de radiação gama. Concluiu-se que a radiação gama e o congelamento provocaram alterações na proporção de pigmentos heme das carnes, com pouco efeito sobre a cor instrumental e com aumento da percepção de cor clara. A irradiação implicou em aumento na oxidação lipídica da carne, com conseqüente redução nos ácidos graxos insaturados.

Palavras-chaves: Qualidade da carne. *Bos indicus*. Lipídeos.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effects of gamma radiation and freezing prior to aging on the color and fatty acid profile of beef. Different irradiation doses (0, 3, 6 and 9 kGy) were applied in frozen (-18 ° C / 24 h) and non-frozen (4 ° C) samples of left and right *Longissimus thoracis et lumborum*, of Nellore (*Bos indicus*) and then aging (1 ° C) for 1 and 14 days. The frozen samples were thawed (4 ° C / 24 h) before aging. The samples were evaluated for pH, oxygen consumption rate (TCO), metamioglobin reducing activity (MRA), proportion of heme pigments, and instrumental (CIELAB) and sensorial color. The non-aging samples were also evaluated for lipid oxidation (thiobarbituric acid reactive substances - TBARS and peroxide index - PI) and fatty acid profile. The pH values of the samples submitted to freezing reduced ($P < 0.05$) after 14 days of aging. The freezing process reduced ($P < 0.05$) the TCO values only on the first day of aging and the MRA values at both times. The MRA of the non-frozen samples reduced ($P < 0.05$) with the application of higher doses of irradiation. Higher irradiation doses resulted in a greater reduction ($P < 0.05$) in the proportion of oximioglobin in the frozen samples than in the non-frozen ones. The proportion of metamioglobin increased ($P < 0.05$) with higher irradiation doses and aging time. Higher irradiation doses reduced the color tone values of the frozen samples ($P < 0.05$), but did not affect ($P > 0.05$) the color of the non-frozen samples. Consumers perceived the non-frozen samples irradiated by 9 kGy as lightness samples regardless of aging time. Higher doses of irradiation implied ($P < 0.05$) higher values of TBARS and frozen samples in lower ($P < 0.05$) PI values. A reduction ($P < 0.05$) was observed in the content of unsaturated fatty acids, especially in the omega 3 series, with the application of higher doses of gamma radiation. It was concluded that gamma radiation and freezing caused changes in the proportion of heme pigments in the meat, with little effect on the instrumental color and with an increase in the perception of light color. The irradiation implied an increase in the lipid oxidation of the meat, with consequent reduction in the unsaturated fatty acids.

Keywords: Meat quality. *Bos indicus*. Lipids.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Mercado da carne bovina brasileira.....	14
2.2 Congelamento da carne.....	15
2.2.1 Efeito do congelamento na cor da carne.....	15
2.2.2 Congelamento prévio à maturação	16
2.3 Coloração da carne	21
2.3.1 Formas químicas da mioglobina.....	21
2.3.2 Cor instrumental	23
2.4 Perfil de ácidos graxos da carne bovina	24
2.4.1 Poli-insaturados	26
2.4.2 Monoinsaturados	26
2.4.3 Saturados	27
2.4.4 Ômega 6 ($\omega 6$) e ômega 3 ($\omega 3$).....	27
2.4.5 Ácido Linoléico Conjugado (CLA).....	28
2.5 Processo de radiação em alimentos	28
2.5.1 História e legislação.....	28
2.5.2 Influência da radiação sobre a carne.....	31
2.5.3 Influência da radiação no perfil de ácidos graxos	32
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
ARTIGO 1	45
INTRODUÇÃO	46
MATERIAL E MÉTODOS	47
Obtenção e irradiação das amostras.....	47
Análise do pH	48
Atividade redutora de metamioglobina	48
Taxa de consumo de oxigênio	49

Avaliação instrumental da cor	49
Avaliação sensorial da cor	50
Oxidação lipídica	51
Perfil lipídico	52
Análise estatística	53
RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
Efeitos sobre os valores de pH, MRA e TCO	53
Efeitos sobre as formas químicas da mioglobina	61
Efeitos sobre a cor instrumental	66
Percepção sensorial da cor	70
Oxidação lipídica e perfil de ácidos graxos	73
CONCLUSÃO	79
REFERÊNCIAS	79

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o quinto maior país do mundo em território, com 8,5 milhões de quilômetros quadrados de extensão, e cerca de 20% da sua área (174 milhões de hectares) é ocupada por pastagens. O país pode atender a qualquer mercado no mundo, sejam nichos específicos, com carnes mais nobres, cortes de menor valor, carnes mais magras ou com maior teor de gordura, ou sob qualquer demanda de volume. A década de 2000 foi marcada pela consolidação do Brasil como potência na produção e exportação de carne bovina. No entanto, o valor pago pela carne bovina brasileira ainda é inferior àquele pago a outros países produtores e exportadores, devido ao fato de haver grande diversidade de sistemas de criação no Brasil, o que proporciona uma maior variabilidade dos atributos de qualidade da carne bovina brasileira.

Atualmente, apenas a garantia de um alimento seguro já não é suficiente para atender as expectativas dos consumidores mais exigentes, sendo que estes estão dispostos a pagar mais caro por garantia de qualidade, principalmente quanto a cor, suculência e maciez da carne bovina. O principal problema para a qualidade da carne bovina brasileira é a sua maciez e, neste contexto, alguns autores têm sugerido o uso da irradiação gama e do congelamento da carne bovina com o intuito de favorecer este atributo.

A irradiação gama é um processo utilizado para conservação de alimentos com excelente resultado para controle bacteriano em carnes frescas. Porém, este processo é responsável pela geração de radicais livres, que podem induzir à oxidação lipídica e outras mudanças químicas, incluindo mudanças na cor da carne. A oxidação lipídica pode induzir uma mudança no perfil lipídico da carne, o que afeta diretamente sua qualidade, visto que os lipídeos têm papel determinante na aceitação da carne, já que sua concentração e composição influenciam fortemente as propriedades sensoriais (textura, sabor, cor e aroma). No que diz respeito à coloração, este é o primeiro aspecto sensorial observado pelo consumidor e, desta forma, é fator determinante no ato da compra de carnes. Quanto ao congelamento, este processo é um dos métodos mais eficientes na preservação de alimentos, uma vez que pode manter um nível aceitável da qualidade da carne ao longo do tempo. Ocorre que o congelamento pode ser utilizado como forma de minimizar os efeitos negativos da irradiação gama sobre a qualidade da carne, pois as moléculas de água ficariam indisponíveis para a reação de radiólise, diminuindo assim, a formação de radicais livres e, conseqüentemente, os impactos sobre a oxidação lipídica seriam menores. Entretanto, o

congelamento e descongelamento também podem contribuir para uma rápida deterioração da coloração da carne, reduzindo significativamente o seu tempo de exposição no varejo.

Assim, o objetivo deste trabalho foi estudar os efeitos da radiação gama e do congelamento na cor e perfil lipídico de contrafilés (músculo *Longissimus thoracis*) bovinos de animais da raça Nelore (*Bos indicus*).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Mercado da carne bovina brasileira

O Brasil é dono do segundo maior rebanho efetivo do mundo, com cerca de 200 milhões de cabeças. Além disso, desde 2004, assumiu a liderança nas exportações, com um quinto da carne comercializada internacionalmente e vendas em mais de 180 países. O rebanho bovino brasileiro proporciona o desenvolvimento de dois segmentos lucrativos, as cadeias produtivas da carne e leite. O valor bruto da produção desses dois segmentos, estimado em R\$ 67 bilhões, aliado a presença da atividade em todos os estados brasileiros, evidenciam a importância econômica e social da bovinocultura em nosso país. A perspectiva em 2018/2019 é que as exportações brasileiras de carne bovina representarão cerca de 60% do comércio mundial (MAPA, 2016).

Hoje, o Brasil pode atender a qualquer mercado no mundo, sejam nichos específicos, com carnes mais nobres (carne *gourmet* ou culinária) até cortes de menor valor (carne ingrediente), sejam mais magras ou com maior teor de gordura, sob qualquer demanda de volume (ABIEC, 2014), sendo que diversos fatores foram determinantes para essa conquista. Para a abrangência no comércio internacional da carne bovina, destacam-se principalmente as ações desenvolvidas em prol da erradicação da febre aftosa, que resultaram, em 2011, na inclusão da grande maioria dos estados brasileiros como zona livre de aftosa (CFA/MA, 2013) e impactaram positivamente as exportações de carne bovina para mercados mais exigentes, como os europeus. Outra característica adicional de valorização foi a produção de alimento seguro, uma vez que a maior parte do rebanho brasileiro é alimentado em pasto.

No Brasil, cerca de 80% do rebanho brasileiro é constituído de bovinos com genótipo *Bos indicus*, que devido a sua rusticidade e alta resistência à temperatura tropical e aos parasitas, se adaptaram bem as condições brasileiras de manejo (BIANCHI et al., 2007).

Quanto a importância relativa dos tipos de carne exportada, nota-se que a maior parte do volume exportado pelo Brasil, em 2011, consistiu de cortes especiais de dianteiro e traseiro, resfriadas ou congeladas, destinadas tanto ao consumo direto como ao uso industrial. O segundo tipo mais importante de carne industrializada exportada pelo Brasil é o *frozen cooked beef* (14.270 toneladas, em 2008) sendo que a participação do principal mercado importador, que é a União

Europeia, vem caindo no total exportado pelo país, tendo chegado a representar quase 100% do total exportado em 1995, e caindo em 2008, para 69%.

2.2 Congelamento da carne

A aplicação do congelamento para a preservação de alimentos é uma técnica utilizada há vários anos para manter a sua qualidade durante o armazenamento, distribuição e venda (HANENIAN; MITTAL, 2004).

Assim como a refrigeração, o congelamento utiliza o decréscimo de temperatura para prolongar o período de conservação dos alimentos. Porém, as temperaturas empregadas no congelamento são muito mais baixas que as usadas na refrigeração, e a diferença essencial entre ambos os métodos é a formação de cristais de gelo no interior dos alimentos (MACHADO, 2009).

2.2.1 Efeito do congelamento na cor da carne

Quanto à cor da carne, segundo Leygonie, Britz e Hoffman (2012), durante algum momento do congelamento, armazenamento congelado, e também no descongelamento da carne, ocorre a desnaturação da globina presente na molécula de mioglobina. Essa desnaturação leva a um aumento da suscetibilidade da mioglobina à auto-oxidação e, conseqüentemente, à perda da coloração vermelho brilhante da carne.

Outro fator que pode influenciar na coloração da carne congelada e descongelada é o sistema de enzimas redutoras, definido como atividade de metamioglobina redutase (MRA). Depois que a mioglobina (Mb) é oxidada à metamioglobina (MMb), o sistema MRA atua, reduzindo a MMb em mioglobina novamente. A MRA é classificada em NADH-citocromo b5 redutase. No entanto, o processo de congelamento e descongelamento da carne pode resultar na perda da MRA e/ou a oxidação do NADH no músculo (ABDALLAH; MARCHELLO; AHMAD, 1999).

Na carne fresca, a atividade de MRA é alta, de modo que a MMb formada é rapidamente reduzida à deoximioglobina (Mb⁺) e novamente oxigenada à forma de O₂Mb, caracterizando a cor vermelho brilhante. No entanto, à medida que a carne é maturada ou congelada, a atividade da MRA diminui a ponto de ocorrer o acúmulo de MMb na superfície da carne (ABDALLAH; MARCHELLO; AHMAD, 1999), pois a MMb não é mais reduzida para mioglobina, porque os

intermediários da redução, como o NADH, não são mais formados (O'KEEFFE; HOOD, 1982), devido à perda do NAD, causada pelo congelamento e descongelamento da carne (ABDALLAH; MARCHELLO; AHMAD, 1999).

O aumento da oxidação lipídica está associado à deterioração da cor em carne bovina (FAROUK; SWAN, 1998). Assim, na fase de iniciação da oxidação lipídica ocorre a formação de pro-oxidantes capazes de reagir com oximioglobina, que por sua vez, leva à formação da metamioglobina. Além da cor, a oxidação lipídica altera o sabor, o odor (LEYGONIE; BRITZ; HOFFMAN, 2012) e o valor nutricional, e pode vir a formar compostos tóxicos para o organismo (HUANG et al., 2013).

2.2.2 Congelamento prévio à maturação

O congelamento dos alimentos é um meio para prolongar a vida útil de carnes e derivados, pois à medida que a temperatura é reduzida, diversas reações tais como físicas, químicas e bioquímicas passam a ocorrer em baixa velocidade, acarretando alterações sensoriais nesses produtos, apesar de não serem totalmente paralisadas mesmo quando o alimento é armazenado a -30 °C. Por outro lado, uma parte dos microrganismos deterioradores deixa de se multiplicar, sendo que a maioria das bactérias e fungos cessam seu desenvolvimento a -8 °C, e parte é destruída (PAINE; PAINE, 1983).

Segundo Sarantópoulos, Oliveira e Canavesi (2001), o mercado de alimentos congelados apresenta um grande potencial de crescimento, pois seu consumo no Brasil ainda é baixo se comparado ao dos Estados Unidos e de países europeus.

O congelamento utiliza como forma de prolongar o período de conservação de alimentos, o decréscimo de temperatura. Porém, as temperaturas empregadas no congelamento são muito mais baixas que as usadas na refrigeração, e a diferença entre esses dois processos é a formação de cristais de gelo no interior dos alimentos (MACHADO, 2009).

O congelamento, e posterior descongelamento, são processos complexos que envolvem a transferência de calor, bem como alterações químicas e físicas que podem afetar a qualidade desse produto (GAMBUTEANU; BORDA; ALEXE, 2013). O processo de congelamento se inicia pela cristalização da água nos espaços extracelulares devido a menor concentração de solutos que no fluido intracelular (MACHADO, 2009). Esses cristais de gelo provocam a remoção osmótica da

água, a desnaturação das proteínas e danos mecânicos onde as células, a mitocôndria, além de que outras organelas são rompidas em vários graus, as enzimas são liberadas e o exsudado se altera (THYHOLT; ISAKSSON, 1997). De acordo com Akhtar, Khan e Faiz (2013), alguns fatores são citados como os principais afetados durante o processo de congelamento e posterior descongelamento da carne, dentre eles: oxidação lipídica, desnaturação proteica, pH, força de cisalhamento, textura e estrutura da carne, cor, contagem microbiana, quantidade de exsudado.

Quanto mais rápido ocorrer o congelamento, menor será a quantidade de cristais de gelo formada, resultando em menor dano celular (AROEIRA; FILHO; FONTES, 2016). Quando o congelamento é lento ocorre a formação de grandes cristais de gelo no músculo, porque a temperatura da carne permanece próxima do ponto de congelamento inicial durante muito tempo, causando danos consideráveis nas estruturas das proteínas musculares e nas membranas celulares. Além disso, há um dano mecânico à célula, em razão da formação de grandes massas de gelo e do encolhimento das fibras musculares, que perdem água para os acúmulos extracelulares. Ocorre também a desidratação parcial da fibra provocada pela migração de fluido sarcoplasmático para a área extracelular, onde se forma o gelo (GAMBUTEANU; BORDA; ALEXE, 2013). Por outro lado, quando o congelamento é rápido, o deslocamento de água é pequeno, e são produzidos pequenos cristais de gelo, que são distribuídos uniformemente no meio intracelular, fazendo com que os danos causados pelos cristais de gelo sejam menores (KIM et al., 2015; MACHADO, 2009). Para Ballin e Lametsch (2008), a consequência da formação desses cristais é que esse dano físico provocado continua durante o armazenamento no congelamento e também no descongelamento, devido ao processo de recristalização contínua.

Segundo Colla e Hernández (2003), pesquisas recentes acerca dos métodos de congelamento e descongelamento de alimentos, objetivam minimizar os danos decorrentes da formação de cristais de gelo, perda de peso na estocagem e exsudação de água e nutrientes no descongelamento, principalmente para produtos cárneos, bem como prejuízos sensoriais decorrentes da alteração da textura e cor, principalmente em frutas e vegetais.

Em relação à coloração das carnes, Jeong et al. (2011) relataram que apesar do congelamento ser um método importante para a preservação de carnes, alguns mecanismos não podem ser evitados durante esse processo, devido, principalmente, à formação de cristais de gelo, que leva ao dano mecânico da carne e desnaturação proteica, sugerindo que esse processo pode levar a uma maior deterioração da coloração em carnes bovinas. Esses autores observaram maiores

valores para os índices de vermelho (a^*) e de amarelo (b^*), e para a oximioglobina nas carnes maturadas por 7 dias, em comparação com aquelas que foram congeladas e descongeladas antes da maturação. A metamioglobina foi maior nas carnes que foram congeladas, sugerindo que o processo de congelamento da carne pode acelerar a deterioração de sua coloração. Além disso, durante o congelamento/descongelamento ocorre a desnaturação da mioglobina, o que leva a uma perda na estabilidade da cor (

Añón e Calvelo (1980), observaram maiores valores para os índices de vermelho (a^*) e de amarelo (b^*) e para a oximioglobina nas carnes maturadas por 7 dias em comparação com aquelas que foram congeladas e descongeladas antes da maturação. A metamioglobina foi maior nas carnes que foram congeladas, sugerindo que o processo de congelamento da carne pode acelerar a deterioração de sua coloração.

Segundo Leygonie, Britz e Hoffman (2012), durante o armazenamento congelado e/ou o congelamento/descongelamento do músculo ocorre, em algum momento, a desnaturação das frações da globina, da mioglobina. Essa desnaturação leva a um aumento da suscetibilidade da molécula de mioglobina sofrer auto-oxidação e, conseqüentemente, perda da coloração ideal da carne.

O sistema enzimático de redução da metamioglobina é um fator que pode influenciar a coloração da carne congelada/descongelada, uma vez que há um sistema de enzimas presentes no músculo, que são capazes de promover redução nas moléculas de mioglobina, conhecido como atividade de metamioglobina redutase (MRA). Este por sua vez, atua na redução da metamioglobina em mioglobina novamente (ABDALLAH; MARCHELLO; AHMAD, 1999). A MRA é classificada em NADH-citocromo b5 redutase. Arihara et al. (1989) verificaram a presença de citocromo b5 NADH redutase em músculos esqueléticos bovinos, que têm um espectro de absorção idêntico àquele citocromo b5 redutase das células vermelhas do sangue bovino (TAMURA et al., 1983). O processo de congelamento e descongelamento da carne pode resultar na perda da MRA e/ou a oxidação do NADH no músculo (ABDALLAH; MARCHELLO; AHMAD, 1999).

Quando a carne está fresca com MRA alto, a metamioglobina assim formada, é muitas vezes reduzida à deoximioglobina e oxidada imediatamente pelo oxigênio disponível no *headspace* do pacote. Caso a carne não esteja fresca e o MRA presente na carne estiver perdido, a metamioglobina será constantemente formada e não será reduzida novamente à deoximioglobina.

Dessa forma, a porcentagem de metamioglobina irá aumentar rapidamente com o tempo de armazenamento. Isso poderia explicar a rápida acumulação de metamioglobina nos cortes de carne congelada e descongelada (ABDALLAH; MARCHELLO; AHMAD, 1999). De acordo com Ledward (1970), a baixa pressão parcial de O₂ favorece a oxidação de O₂Mb para MMb.

Scope e Newbold (1968) relataram que o congelamento/descongelamento acelera a perda de NAD do músculo. O acúmulo rápido de metamioglobina em carne congelada/descongelada pode ser devido ao fato de que a metamioglobina formada não é mais reduzida para mioglobina, devido aos intermediários da reação de redução, particularmente NADH, que não são mais formados (O'KEEFE; HOOD, 1982).

Com relação à oxidação lipídica, seu aumento está associado à deterioração da cor da carne bovina (AKAMITTAH; BREKKE; SCHANUS, 1990). A oxidação lipídica tende a aumentar com o aumento do tempo de armazenamento em estágio congelado, devido à maior permeabilidade da embalagem ao oxigênio (FAROUK et al., 1990; BREWER; WU, 1993) e o teor de gordura presente na carne (FAROUK; SWAN, 1998).

Quando a oxidação lipídica é iniciada, resulta na formação de pró-oxidantes capazes de reagir com oximioglobina, que por sua vez, leva à formação da metamioglobina. Segundo Leygonie, Britz e Hoffman (2012), a oxidação lipídica não altera somente a cor da carne, mas o sabor e o odor e, de acordo com Huang et al. (2013), altera também o valor nutricional e pode vir a formar compostos tóxicos para o organismo.

O armazenamento da carne congelada por um longo período pode afetar a estabilidade oxidativa e as propriedades sensoriais da mesma (VIEIRA et al., 2009). Durante o armazenamento congelado, os processos de oxidação são retardados, mas não param. Alguns radicais solúveis em lipídeos podem ainda ser mais estáveis a temperaturas mais baixas e, assim, propagar oxidação (HUANG et al., 2013). Estudos têm relatado que o armazenamento congelado e a estabilidade da qualidade microbiológica e características físico-químicas tais como estabilidade oxidativa e propriedades sensoriais, depende da sua composição química devido à estabilidade da cor, das proteínas sarcoplasmáticas e da oxidação da gordura (DAMEN; STEENBEKKERS, 2007; FAROUK; WELICZKO, 2003).

Entende-se por maturação, o processo por meio do qual a carne não processada é armazenada acima de seu ponto de congelamento (-1,5 °C), geralmente realizado sob temperatura de refrigeração que varia de 0 a 4 °C (ZEOLA et al., 2007). O período de tempo após o abate pode

variar de 7 a 21 dias e tem como principal objetivo melhorar as características organolépticas da carne, sendo as mais importantes, a maciez, o sabor e a suculência. Após esse período a carne é embalada a vácuo, a fim de eliminar o risco do crescimento de bactérias aeróbicas putrefativas, e ainda, favorecer o crescimento das bactérias lácticas produtoras de substâncias antimicrobianas (ANDRIGHETTO et al., 2006). Segundo Koohmaraie e Geesink (2006), carnes bovinas devem ser armazenadas por 10 a 14 dias, cordeiros por 7 a 10 dias, e carne suína por 5 dias.

A embalagem a vácuo é comumente utilizada no acondicionamento e comercialização de cortes primários e subprimários de carne fresca. Com a remoção do ar e manutenção de condições anaeróbicas, o sistema a vácuo reduz a ação microbiana (AROEIRA, 2014).

A maturação também afeta a cor inicial e a estabilidade da cor da carne bovina (BOAKYE; MITTAL, 1996; KING et al., 2012). Alterações na atividade mitocondrial em razão da maturação podem influenciar a intensidade e a estabilidade da sua cor. O consumo de oxigênio diminui com o tempo de maturação, o que aumenta a intensidade inicial da cor e os valores de a^* das carnes maturadas devido a menor competição por oxigênio da mioglobina com a mitocôndria. Isto resulta em uma maior profundidade de penetração do oxigênio, aumentando a oxigenação da mioglobina e a espessura de O_2Mb sob a superfície da carne. Além disso, a capacidade das mitocôndrias em converter O_2Mb em Mb^+ também é reduzida com tempo de maturação (KING et al., 2012; MANCINI; HUNT, 2005; MANCINI; RAMANATHAN, 2014). Entretanto, esta melhoria no desenvolvimento da cor inicial é perdida em razão de sua menor estabilidade em carnes maturadas. Isto é causado pelos efeitos negativos do tempo de maturação sobre a redução da MMb mediada pelas mitocôndrias (MANCINI; RAMANATHAN, 2014). Ainda, por causa da maturação, a carne tende a se tornar mais clara, pois as alterações na estrutura e nos índices de refração proporcionam uma maior dispersão (*scattering*) e reflexão da luz (HUGHES et al., 2014). Em relação a análise instrumental de cor, Boakye e Mittal (1996) estudando o processo de maturação, demonstraram que esta tem influência nos parâmetros de cor instrumental (L^* , a^* , b^*) da carne bovina.

Avaliando o processo de maturação e a oxidação lipídica, na maturação formam-se compostos precursores, que na cocção da carne originam compostos voláteis e não voláteis, resultando em um perfil de sabor característico e distinto daquele referente à carne fresca cozida (ARIMA, 2003).

O sabor da carne é resultado da combinação de sabores básicos (doce, azedo, ácido, salgado e umami) e do cheiro derivado de compostos voláteis (STETZER et al., 2008). Carnes cruas

possuem pouco aroma, além do sabor de sangue. Contudo, as mesmas consistem em um reservatório de compostos precursores do aroma e sabor. Aminoácidos, peptídeos e nucleotídeos produzidos pelas proteínas DNA e RNA, podem contribuir na adição de sabor, pois estes podem interagir com outros componentes a fim de produzir aromas voláteis (SHAHIDI, 1998 citado por STETZER et al., 2008).

Além disso, a oxidação de ácidos graxos insaturados produz vários compostos, alguns dos quais, resultam em características de odores espécies-específicas à carne. Contudo, outros compostos podem contribuir para a produção de um sabor estranho *off flavor* na carne. A oxidação de lipídeos produz uma variedade de aldeídos (hexanal, heptenal, pentanal, 2,4-decadienal) provenientes de fosfolipídios e ácidos graxos polinsaturados, alguns dos quais têm odor desagradável em concentrações muito baixas (STETZER et al., 2008).

2.3 Coloração da carne

A cor da carne bovina *in natura* é aspecto fundamental no ato da compra, uma vez que é o primeiro atributo de qualidade percebido pelo consumidor, sendo utilizada como um indicador muitas vezes de maneira equivocado, de frescor, salubridade, conservação, e da qualidade durante o consumo. Sendo assim, a apresentação de carnes bovinas *in natura* com cor vermelho brilhante no ponto de venda é de extrema importância, pois os consumidores avaliam negativamente a carne que não atende a esta expectativa (CARPENTER; CORNFORTH; WHITTIER, 2001; TROY; KERRY, 2010). Esses mesmos autores ressaltam que apesar de ser fator decisivo na compra, a cor da carne bovina *in natura* não é bem correlacionada com os atributos associados à qualidade durante o consumo. A preferência do consumidor por determinada cor de carne bovina *in natura* é suficiente para influenciar a sua decisão de compra, porém, não afeta a aceitação do seu sabor. É provável que, como o ato de compra da carne é realizada no mercado, a satisfação do consumidor durante o seu consumo no lar, leve em consideração os atributos maciez, suculência e sabor.

2.3.1 Formas químicas da mioglobina

A aceitação pelo consumidor de carne fresca embalada é influenciada primeiramente pela cor (PIRKO; AYRES, 1957). A cor da carne bovina *in natura* depende, principalmente, da

concentração e da forma química dos pigmentos mioglobina e das características físicas da carne, tais como as propriedades de dispersão e absorção da luz (HUGHES et al., 2014; MANCINI; HUNT, 2005; MANCINI; RAMANATHAN, 2014; TROY; KERRY, 2010). A concentração de mioglobina nos músculos varia entre e dentro das espécies e é afetada por fatores genéticos e ambientais (KING et al., 2010; MANCINI; HUNT, 2005). Está associada à proporção e distribuição relativa de três formas químicas da mioglobina: mioglobina reduzida ou deoximioglobina (Mb^+), oximioglobina (O_2Mb) e metamioglobina (MMb). O processo de interconversão entre essas formas químicas do pigmento de mioglobina é possível e a forma dominante depende das condições da carne e do meio (FAUSTMAN; CASSEN, 1990; MANCINI; HUNT, 2005; TROY; KERRY, 2010).

A oximioglobina é responsável pela cor que é considerada pelos consumidores como a ideal, o vermelho-brilhante. É uma forma ferrosa diamagnética, estável sob altas pressões de oxigênio. A conversão da deoximioglobina (Mb^+) em oximioglobina (O_2Mb) é causada pelo processo de oxigenação, ou seja, ligação covalente do oxigênio atmosférico com o sítio livre do ferro da mioglobina, trata-se de uma reação rápida, pelo fato da alta afinidade da mioglobina pelo oxigênio (RAMOS; GOMIDE, 2007). A formação da O_2Mb a partir da oxigenação da Mb^+ determina a intensidade da cor vermelha inicial, após a oxigenação.

A metamioglobina é formada quando ferro heme é rapidamente oxidado à sua forma férrica, ou seja, é formada por duas reações opostas: a autooxidação e a redução. A mioglobina, passará a ser chamada de deoximioglobina, a forma reduzida da mioglobina (Fe^{2+}). Estas reações, conhecidas como atividade redutora de metamioglobina (MRA), são responsáveis pela alteração da valência do ferro da mioglobina da carne, de ferroso para férrico. As diferenças da MRA entre os músculos contribuem para a capacidade de alguns músculos reterem o pigmento de coloração vermelho vivo por períodos mais longos (ESKIN; SHAHIDI, 2013). Esse pigmento atua como catalisador nas reações de radicais livres, como na oxidação de lipídeos, por induzir a quebra de hidroperóxidos (RAMOS; GOMIDE, 2007). É responsável por sua vez pela cor marrom, que desenvolve durante o armazenamento da carne, indicando para os consumidores ausência de frescor do produto, sendo, portanto indesejável (ESKIN; SHAHIDI, 2013).

O pigmento de deoximioglobina (Mb^+), ou mioglobina reduzida, é um derivado ferroso da mioglobina, formado em condições de baixa tensão de oxigênio (pO_2).

A taxa de consumo de oxigênio (TCO) e a atividade da metamioglobina redutase (MRA) influenciam a intensidade e a estabilidade da cor da carne bovina *in natura* (BEKHIT; FAUSTMAN, 2005; MANCINI; HUNT, 2005; MANCINI; RAMANATHAN, 2014; MCKENNA et al., 2005). O consumo de oxigênio promove a diminuição do desenvolvimento da cor vermelha inicial e a sua intensidade, uma vez que diminui a oxigenação da mioglobina, mantendo-a como Mb⁺, cuja coloração é vermelho púrpura. A TCO está associada com a respiração residual da mitocôndria durante o período *post mortem* e relaciona-se à profundidade de penetração do oxigênio através da superfície exposta do músculo (MANCINI; HUNT, 2005; MANCINI; RAMANATHAN, 2014; MCKENNA et al., 2005). A metamioglobina redutase reduz o Fe⁺³ a Fe⁺², transformando a MMb em Mb⁺, possibilitando a sua oxigenação à O₂Mb. Desse modo, a MRA prolonga a estabilidade da coloração vermelho cereja brilhante da carne bovina *in natura* (BEKHIT; FAUSTMAN, 2005; MCKENNA et al., 2005; SEYFERT et al., 2006). Diversos fatores influenciam a TCO e a MRA, contribuindo desse modo, para a descoloração da carne durante o tempo que permanece armazenada. A taxa de acúmulo de MMb está relacionada com fatores intrínsecos, tais como o pH, o tipo de fibra muscular, a idade, a raça, o sexo e a dieta dos animais, e com fatores extrínsecos, como manejo pré-abate, a estimulação elétrica e a refrigeração das carcaças, onde geralmente, há exposição a altas temperaturas e baixo pH, leva ao aumento da formação da taxa de metamioglobina através da redução da MRA (LADIKOS; WEDZICHA, 1988) e comumente, a menor TCO está relacionada à maior penetração de oxigênio no músculo e com isso, à maior estabilidade da cor (KLONT et al., 1998). Além disso, no ponto de venda, a temperatura, o tipo de iluminação, o desenvolvimento microbiológico, e a atmosfera e disponibilidade (pressão parcial) de oxigênio na embalagem, podem influenciar a cor e, logo, a venda da carne bovina *in natura* (MANCINI; HUNT, 2005; MCKENNA et al., 2005; TROY; KERRY, 2010).

2.3.2 Cor instrumental

A coloração da carne é definida por MacDougall (1982) como sendo uma experiência subjetiva, onde suas sensações não existem sem a percepção de um observador, no qual tem uma visão da cor acompanhada por uma mistura do estímulo de três cores primárias. A luz que entra em contato com a superfície da carne bovina pode ser refletida, absorvida ou espalhada, e a

combinação desses três fenômenos resulta na determinação da sua cor, porém, a luz refletida de volta aos olhos do consumidor é o que determina sua percepção e, conseqüentemente, sua aceitação.

A cor pode ser medida quando definido o iluminante, o espaço de cor a ser utilizado e as cores primárias, em relação à visão de um observador padrão, estabelecido pela Comissão Internacional de Iluminação (*Commission Internationale de l'Eclairage*; CIE). O CIELAB é um dos métodos colorimétricos que se destaca entre os espaços de cor utilizados na área de alimentos.

A área é definida pelas coordenadas (a^*) referente ao índice de vermelho, ou seja, representa a coloração de verde para vermelho. Está relacionada à forma da molécula de mioglobina, que na carne fresca, apresenta-se sob três formas: mioglobina, oximioglobina e metamioglobina. Já a coordenada (b^*) refere-se ao índice de amarelo, representando a coloração de azul para amarelo, e está relacionada com os pigmentos carotenóides presentes na gordura, oriundos da alimentação. Estes tendem a ser associados ao pigmento mioglobina, e a partir dessas coordenadas, a saturação (C^*) e o ângulo de tonalidade (h^*) são calculados.

O espaço (L^*), indicativo de luminosidade, varia de branco ($+L^*$) a preto ($-L^*$), e está relacionado com as características estruturais do músculo, os quais juntos, determinam a luz refletida que é vista pelo consumidor (HUGHES et al., 2014; MANCINI; HUNT, 2005; RAMOS; GOMIDE, 2007), e também com a luminosidade superficial relacionada com a perda de água e a presença de gordura entremeada na carne (BRESSAN et al., 2011).

2.4 Perfil de ácidos graxos da carne bovina

De acordo com Medeiros (2003), o principal motivo da 'limitação' da carne bovina em nossa alimentação ocorre pela restrição de gordura saturada. A relação de AGS: AGI é a próxima a um, sendo assim, a carne teria em sua composição de gordura, metade de cada um. A composição dos ácidos graxos da carne é de fundamental importância, uma vez que influi no sabor, na vida de prateleira, na consistência da gordura na carcaça, além de possuir aspectos relativos à saúde humana.

Os lipídios na carne se apresentam como triglicérides (aproximadamente 90%), como fosfolipídios (até 20%) e como ésteres de colesterol e ácidos graxos não esterificados (menos de

3%) (RULE; BUSBOOM, 1995). Na gordura bovina existem mais de vinte ácidos graxos diferentes, porém, seis deles representam mais de 90% do total (TABELA 2.1).

Tabela 2.1 - Nome comum, comprimento de cadeia: número de insaturações, tipo de ácido graxo e teores dos principais ácidos graxos na gordura intramuscular de bovinos.

Nome Comum	Comprimento da cadeia: número de insaturações	Tipo de ácido graxo	Teor (%)
Ácido Mirístico	14:0	Saturado	4
Ácido Palmítico	16:0	Saturado	27
Ácido Palmitoléico	16:1 ω 7	Insaturado	4
Ácido Esteárico	18:0	Saturado	15
Ácido Oléico	18:1 ω 9	Insaturado	41
Ácido Linoléico	18:2 ω 6	Poliinsaturado	4

Fonte: Duckett (2000).

De acordo com Campbell (2000), os ácidos graxos estão definidos pela quantidade de átomos de carbono que formam uma cadeia, assim como a presença de duplas ligações nesta cadeia. Podem ser classificados em: saturados (sem dupla ligação em suas cadeias) e insaturados (com uma ou mais ligações duplas em suas cadeias), estes divididos em monoinsaturados (uma dupla ligação), diinsaturados (duas duplas ligações) e poli-insaturados (mais de duas duplas ligações).

Na carne bovina, estão presentes em boas quantidades os ácidos palmítico (27%) e esteárico (13%), ambos saturados. O ácido oleico, considerado monoinsaturado, e abundante no azeite de oliva, na carne, representa 40% do total de ácidos graxos (DOMENE, 2002).

Em estudos realizados por Freitas (2006) sobre as características da carcaça e da carne, bem como do perfil de ácidos graxos da gordura intramuscular de novilhos Nelore recriados em pastagem e terminados em confinamento, foram encontrados predominantemente ácidos graxos saturados (54,8%) e monoinsaturados (41,6%), além de ácidos graxos poli-insaturados (3,2%).

2.4.1 Poli-insaturados

Os ácidos graxos poli-insaturados se subdividem em ômega 6 ($\omega 6$) e ômega 3 ($\omega 3$), e são considerados essenciais devido à incapacidade do organismo de sintetizá-los, sendo assim, precisamos obtê-los através da dieta. Os mais representativos na carne bovina são os ácidos linoleico (C18:2 $\omega 6$) e o araquidônico (C20:4 $\omega 6$). Os ácidos eicosapentanoico (C20:5 $\omega 3$) e docosahexaenóico (C22:6 $\omega 3$), têm sido mais enfatizados pelas pesquisas por demonstrarem efeitos fisiológicos benéficos a saúde humana (WILLIANS, 2000). O C22:6 $\omega 3$ tem função importante na formação, desenvolvimento e funcionamento do cérebro e da retina (CHEN et al., 1988).

Os ácidos graxos da família $\omega 3$ protegem o coração e as artérias, auxiliam na redução do colesterol e dos triglicerídeos séricos, mantêm estável a pressão arterial, fortalecem o sistema imunológico e auxiliam nos tratamentos contra a depressão. Além disso, tem-se destacado a importância de sua ingestão na fase gestacional, nos primeiros meses após o nascimento, na terceira idade e em várias outras doenças, especialmente nas degenerativas (HORNSTRA, 2000).

Além destes, o ácido linoleico conjugado (CLA), encontrado apenas em produtos de ruminantes, tem se mostrado anticarcinogênico, antiarterosclerose, antitrombótico, hipocolesterolêmico, imunoestimulatório, atuando no aumento da massa muscular, reduzindo a gordura corporal e prevenindo diabetes.

2.4.2 Monoinsaturados

Como principal representante na carne bovina, tem-se o ácido oleico (C18:1 $\omega 9$). Em estudos realizados por Freitas (2006) este ácido representou 88% em carne de novilhos. Maiores valores deste em sua forma cis são desejáveis, por terem ação hipocolesterolêmica, com a vantagem de não reduzirem o HDL, atuando na proteção contra doenças coronarianas. O teor do ácido oleico é positivamente correlacionado com qualidade sensorial da carne (MELTON et al. 1982 citado por LOBATO; FREITAS, 2006).

2.4.3 Saturados

Os ácidos graxos saturados são considerados hipercolesterolêmicos e os mais preocupantes, neste sentido, são mirístico (C14:0), láurico (C12:0) e palmítico (C16:0) (FARFAN, 1996 citado por LADEIRA; OLIVEIRA, 2006). Segundo French e O'riordan (2003), destes, o mais indesejável seria o ácido mirístico (C14:0), que de acordo com os resultados dos autores representam apenas 3% dos ácidos graxos totais da carne bovina. Os ácidos graxos saturados aumentam o nível de colesterol sanguíneo por reduzirem a atividade do receptor LDL-colesterol e reduzirem o espaço livre de LDL na corrente sanguínea (GRUNDY; DENKE, 1990). O ácido esteárico (C18:0), que representa 43% dos ácidos graxos na carne, tem função neutra ou até mesmo de redução dos níveis de colesterol, uma vez que no organismo se transforma imediatamente em ácido oleico (C18:1 ω 9) (FREITAS, 2006).

2.4.4 Ômega 6 (ω 6) e ômega 3 (ω 3)

Os ácidos graxos da família ω 3 são considerados ácidos graxos essenciais, uma vez que são essenciais para saúde humana, mas não podem ser produzidos pela maioria dos mamíferos.

Os ácidos graxos essenciais desempenham um papel na formação da cadeia longa de ácidos graxos poli-insaturados. Por exemplo, o ácido linoléico dá origem ao araquidônico (C20: 4 n-6), que é um precursor dos eicosanóides, que são responsáveis por desencadear processos inflamatórios e pró-agregação (YEHUDA et al., 2002). O ácido linolênico dá origem a vários ácidos graxos, eicosapentaenóico (C20: 5 n - 3), docosapentaenóico (C22: 5 n - 3) e ácidos docosahexaenóico (C22: 6 n - 3), que estão envolvidos a formação de eicosanóides que atuam como anti-inflamatórios e antiagentes agregativos, ou seja, produtos metabólicos do ω 6 promovem ação inversa. Os ácidos linoleico (C18:2 ω 6) e α -linolênico (C18:3 ω 3) são essenciais para manter em funcionamento as membranas celulares, as funções cerebrais e a transmissão de impulsos nervosos. Participam ainda da transferência de oxigênio atmosférico para o plasma sanguíneo, da síntese da hemoglobina e da divisão celular (YOUDIM; MARTIN, 2000; YEHUDA et al., 2002).

Na carne bovina, a concentração encontrada (mg/g) dos ácidos linoleico, α -linolênico, araquidônico, são 4,1, 0,4 e 0,5, respectivamente. No entanto, eicosapentaenoico e

docosaenoico não são encontrados neste tipo de produto de origem animal (BROUGHTON et al., 1997; MARTIN; ALMEIDA; RUIZ, 2006).

2.4.5 Ácido Linoléico Conjugado (CLA)

Há uma crescente preocupação dos consumidores quando feita associação da saúde e ácidos graxos trans. Os ácidos graxos trans resultantes de fabricação, encontrados em alimentos contendo óleos vegetais parcialmente hidrogenados, são preocupantes, uma vez que pesquisas têm demonstrado que eles aumentam os níveis do LDL e diminuem os níveis de HDL, aumentando assim o risco de doenças cardíacas. Cerca de 90% de todas as gorduras trans consumidas são provenientes destas gorduras trans fabricadas artificialmente em alimentos e guloseimas processadas. Já os ácidos graxos trans naturalmente ocorrentes, de origem animal, não aumentam o risco de doenças cardiovasculares, podendo até diminuí-la (MACDONALD, 2000).

Ácido linoleico conjugado (CLA) se refere a um grupo de ácidos graxos poli-insaturados, que são produzidos no rúmen, durante a biohidrogenação dos ácidos linoléico e α -linolênico, por bactérias fermentativas (*Butyrovibrio fibrisolvens*) ou pela síntese via -9 dessaturase do ácido vacênico (C18:1 trans-11) (PARIZA et al., 2000; PARIZA; PARK, 2001). Dependendo da espécie animal, do tecido, e da dieta, o conteúdo de CLA na carne de ruminantes varia entre 2,7 e 5,6 mg/g de gordura (EVANS; BROWN; MCINTOSH, 2002).

2.5 Processo de radiação em alimentos

2.5.1 História e legislação

A irradiação dos alimentos consiste em expor o mesmo à irradiação ionizante. Partículas carregadas de alta energia, tais como elétrons ou fótons de elevada energia, raios X e raios gama são exemplos de radiação ionizante (MARIANO, 2004). É um processo de pasteurização a frio por ser insignificante a variação da temperatura do produto durante o procedimento. Pouquíssima energia irradiada é utilizada aumentando a energia térmica (WIENDL, 1978; BRASIL, 2001; SANTOS et al., 2003; PEREIRA, 2004; NABILGHOBRI, 2008). Em outros termos, é empregado para designar processamento com um número limitado de energias radiantes, as quais são

escolhidas com base no seu poder de penetração e inabilidade de produzir significativa radioatividade nos alimentos tratados (POTTER,1986). A radiação ionizante em alimentos foi estimulada pelo Ministério da Defesa do Exército nos Estados Unidos, em 1953, assim como programas na Europa e Rússia (DIEHL, 1995; GERMANO; GERMANO, 2011).

As primeiras pesquisas com radiação de alimentos foram feitas da década de 50 no Brasil, realizadas pelo Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA). A radiação para conservação de alimentos era utilizada apenas em estudos que se restringiram quase que exclusivamente às instituições de pesquisas, uma vez que o país contava com um número restrito de especialistas, mesmo sendo permitida desde 1985 (OLIVEIRA; SOARES; ALVES, 2012).

A carne suína passou a ser radiada a partir de 1985, em 1993, o frango e, em 2000, a carne vermelha (SANTOS et al., 2003). Em 1999, a Organização Mundial da Saúde (OMS) liberou a irradiação de alimentos com dosagem superior a 10 kGy (SILVA, 2008).

A primeira regulamentação brasileira foi o Decreto nº 72. 718/1973 (BRASIL, 1973), seguido das Portarias nº 9/1985 (BRASIL, 1985) e nº 30/1989 (BRASIL, 1989) e, atualmente, a Resolução RDC nº 21/2001 (BRASIL, 1973; BRASIL, 2001), onde foi aprovado o Regulamento Técnico para Irradiação de Alimentos, que está vigente até os dias atuais. A legislação brasileira segue as recomendações internacionais sugeridas pela *Food and Agriculture Organization* (FAO), *International Atomic Energy Agency* (IAEA) e *Codex Alimentarium* da ONU (ORNELLAS et al., 2006).

De acordo com o referido Regulamento, a irradiação pode ser aplicada em qualquer alimento com a condição de que a dose mínima absorvida deve ser suficiente para alcançar a finalidade pretendida e a dose máxima absorvida deve ser inferior àquela que comprometeria as propriedades funcionais e/ou os atributos sensoriais do alimento (BRASIL, 2001). A frase ‘alimento tratado por processo de irradiação’ deve estar no rótulo, com letras um terço superior do maior tamanho (IAEA, 1986; BRASIL, 2001). Se utilizado como ingrediente em produtos, deve estar listado entre parênteses após seu nome (IAEA, 1992; BRASIL, 2001). O símbolo internacional do uso da irradiação ionizante é a radura, ilustrado na Figura 2.1.

O uso de comida congelada e, conseqüentemente, o uso de freezers e micro-ondas, priorizou-se nos anos 80, demonstrando uma preocupação com a conservação de alimentos. Tais processos têm um alto consumo de energia. Sendo assim, o processamento e a manutenção passaram a ter um custo significativo no valor final do alimento. Já no final do século, a irradiação

de alimentos passou a ser uma forma mais viável de conservação, tomando-se importante na garantia da qualidade do alimento, uma vez que reduz em níveis baixíssimos ou até mesmo elimina os microrganismos contaminantes presentes, mantendo as características iniciais dos alimentos e aumentando conseqüentemente sua vida útil, embora não descarte a necessidade da refrigeração para auxiliar nesta preservação (IOWA, 2000).

Figura 2.1 - Radura, o símbolo da irradiação



Fonte: IAEA (1992).

De acordo com Pereira (2004), aplica-se a irradiação de alimentos para se obter qualidade higiênica sanitária e estender a vida útil do produto, a fim de se conseguir manter o alimento com suas características físicas, químicas, microbiológicas e sensoriais para o consumidor. Utilizada como um método pasteurizante, o alimento é exposto a uma quantidade rigidamente controlada de radiação ionizante em um determinado período de tempo, sem contato direto deste com a fonte que transmite a radiação e o alimento mantém seu nível normal de radioatividade.

Os raios gama destacam-se entre os outros por serem eficientes na destruição de microrganismos, devido ao alto conteúdo de energia e grande penetração e letalidade devido sua ação em nível celular, uma vez que sua penetração é instantânea, uniforme e profunda (PASSOS, 2009).

Como vantagem do processo de radiação em alimentos, Maliska (2000) e Marques e Costa (2013) destacam que este meio é utilizado para redução de carga de microrganismos, sem, contudo, gerar calor no alimento, o que levou o processo a ser denominado de esterilização a frio. A pequena elevação de temperatura no produto devido ao processo de radiação, apresenta vantagem de permitir maior retenção de nutrientes e menor alteração em características, como sabor, odor, cor e textura, o que permite que o alimento mantenha as características do alimento fresco (POTTER, 1986). Conseqüentemente, aliado a esses fatores, se tem o prolongamento e a durabilidade do alimento, garantindo conseqüentemente a qualidade higiênica sanitária.

Destaca-se também a flexibilidade do processo de radiação, permitindo sua aplicação em grande diversidade de alimentos de formas e tamanhos diferentes (POTTER, 1986), levando em consideração também que a energia gasta na esterilização por irradiação é cinquenta vezes menor que um tratamento térmico convencional, o que contribui para a manutenção das características originais do alimento (PEREIRA, 2004).

Dentre as principais desvantagens citam-se os altos investimentos ao se empreender esta tecnologia, a inexistência de mercados consumidores nacionais e internacionais promissores, bem como a cultura dos povos avessos a radiação, que dificultam a implantação desta (MARQUES; COSTA, 2013).

Alimentos com alto conteúdo de lipídios podem sofrer rancificação oxidativa, além disso, há a possibilidade de sobrevivência de microrganismos quando se aplica dosagem errada de radiação. Pode ocorrer resistência à radiação por parte dos microrganismos e perda de alguns componentes nutricionais do alimento (SILVA, 2000; FELLOWS, 2008; NABILGHOBRI, 2008).

2.5.2 Influência da radiação sobre a carne

A irradiação de carnes frescas estende a vida útil do produto, além de garantir aos consumidores a segurança alimentar (AL-BACHIR; ZEINOU, 2014), é um processo reconhecido como um método seguro e eficaz entre as tecnologias existentes para a conservação de carnes, uma vez que proporciona um controle bacteriano em carnes frescas, todavia, o uso da radiação ionizante gera radicais livres que podem induzir à oxidação lipídica e outras mudanças químicas. A oxidação lipídica é considerada como uma das maiores causas de deterioração da qualidade da carne fresca ou cozida durante o armazenamento refrigerado ou congelado, resultando na possibilidade de mudanças na cor, oxidação de lipídeos e geração de odor estranho, o que implica respostas negativas para o consumidor quanto à qualidade do produto (BREWER, 2004; BREWER, 2009). Muitos estudos abordam os impactos da aplicação de baixas doses (<5kGy) de irradiação em produtos cárneos, embora na maioria dos países, inclusive no Brasil (BRASIL, 2001), a radiação gama possa ser aplicada em qualquer dose, desde que não comprometa as propriedades funcionais e/ou sensoriais.

Com o intuito de minimizar os efeitos indesejáveis da radiação sobre a qualidade da carne é sugerido que as carnes sejam irradiadas congeladas, pois, segundo Brewer (2004), a água é alvo de elétrons altamente energizados e a radiólise da molécula de água pode gerar uma variedade de espécies reativas. A dispersão desses íons e radicais livres é maior quando a água livre está na forma líquida, no entanto, será menor quando a água livre estiver limitada produtos secos ou congelada.

Os radicais livres gerados durante o processo de irradiação não causam além da oxidação lipídica, e a radiólise dos aminoácidos presentes na carne, e a degradação desses compostos é a principal causa da formação do odor desagradável da carne irradiada, que pode produzir um odor de repolho, enxofre, pútrido e/ou semelhante a vegetal estragado (BREWER, 2009; NAM; AHN, 2003).

No que diz respeito à coloração de carnes que passam pelo processo de irradiação, ocorrem alterações no ambiente químico, por sua vez associados à suscetibilidade da molécula de mioglobina, destacando o ferro heme, que leva a mudanças na coloração da carne (BREWER, 2004). Segundo Nam e Ahn (2003), a irradiação da carne fresca bovina e suína pode resultar na formação de uma coloração amarronzada, esverdeada ou vermelho brilhante, sendo a carne bovina a mais suscetível a mudanças na coloração, podendo mudar sua cor para um castanho acinzentado ou um esverdeado pouco atraente.

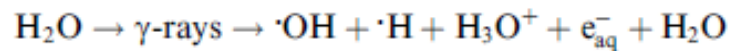
Quando a irradiação é realizada em ambientes com presença de oxigênio, a geração de grandes quantidades do pigmento de metamioglobina parece ser uma aceleração do processo normal de oxidação da mioglobina. A geração de pigmentos esverdeados pode ser em decorrência da degradação do anel de porfirina e/ou a formação da sulfomioglobina, pigmento resultante da reação do sulfeto de hidrogênio (H_2S) e o oxigênio (BREWER, 2004).

2.5.3 Influência da radiação no perfil de ácidos graxos

O processo de radiação através de íons é responsável por gerar radicais livres que podem induzir a oxidação lipídica e outras mudanças indesejáveis no sabor, no aroma e na cor da carne, dificultando a difusão da comercialização da carne fresca irradiada. O motivo pelo qual a radiação poderia produzir uma grande quantidade de radicais hidroxila na carne é que mais de 75% das células musculares são compostas de água (DU et al., 2000; MILLAR; MOSS; STEVENSON, 2000).

Como alternativa para minimizar os efeitos indesejáveis da radiação sobre a qualidade da carne é sugerido que se irradie carnes congeladas, pois, segundo Brewer (2004), a água é alvo de elétrons altamente energizados e a radiólise da molécula de água pode gerar uma variedade de espécies reativas (FIGURA 2.2). A dispersão desses íons e radicais livres é maior quando a água livre está na forma líquida, no entanto, será menor quando a água livre estiver limitada (produtos secos) ou congelada. Assim, quando a água é congelada, os radicais livres tendem a se recombinar, formando a substância original, pois sua difusão é reduzida e seu acesso a outros componentes do alimento será limitado.

Figura 2.2 - Radiólise da molécula de água e as espécies reativas formadas.



Fonte: Brewer (2004).

Quando alimentos ricos em gorduras, como a carne e seus derivados, são expostos à radiação gama, pode ocorrer a formação de radicais livres durante o processo (AHN et al., 1998), devido à radiólise das moléculas de água (FIGURA 1), com consequente oxidação lipídica da carne, que tende a aumentar com o tempo de armazenamento. O hexanal é um bom indicador de oxidação lipídica na carne (AHN; NAM, 2004), sendo um composto que contribui para o odor desagradável da carne.

Yang, Lee e Moon (2011) relataram que toda carne irradiada produz um odor característico da radiação, independentemente do grau de oxidação lipídica, e os compostos responsáveis pelo odor indesejável são os compostos de enxofre, por exemplo o dimetil sulfeto, dimetil dissulfeto e dimetil trissulfeto, oriundos da degradação radiolítica das proteínas.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de radiação gama associado ao congelamento provocaram alteração na coloração das carnes de animais Nelore, sendo que a radiação aumentou a concentração de metamioglobina. Em ambos os tratamentos, ocorreu a diminuição da MRA com o tempo de maturação. Entretanto, em relação à percepção sensorial, os consumidores apresentaram maior preferência pelas carnes irradiadas a 9 kGy, congeladas e refrigeradas maturadas por 1 e 14 dias.

A estabilidade oxidativa dos contrafilés foi alterada com a utilização do processo de radiação provocando um aumento da oxidação lipídica à medida que se utilizava maiores doses, havendo uma redução do percentual dos ácidos graxos insaturados e o aumento dos ácidos graxos saturados.

É interessante que se desenvolva mais projetos que englobem estes processos, testando outras dosagens de radiação associadas ao congelamento prévio à maturação como métodos de conservação das carnes.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLAH, M.B.; MARCHELLO, J.A.; AHMAD, H.A. Effect of Freezing and Microbial Growth on Myoglobin Derivatives of Beef. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 47, p. 4093-4099, 1999.

ABIEC. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. **Balanco 2014**. Disponível em: <<http://apps.fas.usda.gov/psdonline/>> Acesso em: 06 jan. 2017.

AHN, D. U.; NAM, K. C. Effects of ascorbic acid and antioxidants on color, lipid oxidation and volatiles of irradiated ground beef. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 71, p. 149-154, 2004.

AHN, D. U.; OLSON, D. G.; JO, C.; CHEN, X. WU, C.; LEE, J. I. Effect of Muscle Type, Packaging, and Irradiation on Lipid Oxidation, Volatile Production, and Color in Raw Pork Patties. **Meat Science**, v. 49, n. 1, p. 27-39, 1998.

AKAMITTATH, J. G.; BREKKE, C. J.; SCHANUS, E. G. Lipid Oxidation and Color Stability in Restructured Meat Systems during Frozen Storage. **Journal of Food Science**, v. 55, n. 6, p. 1513-1517, 1990.

AKHTAR, S.; KHAN, M. I.; FAIZ, F. Effect of thawing on frozen meat quality: a comprehensive review. **Pakistan Journal of Food Sciences**, Faisalabad, v. 23, n. 4, p. 198-211, 2013.

AL-BACHIR, M.; ZEINO, R. Effect of gamma irradiation on the microbial load, chemical and sensory properties of goat meat. **Acta Alimentaria**, v. 43, n. 2, p. 264-272, 2014.

ANDRIGHETTO, C. et al. Maturação da carne bovina. **Revista Electrónica de Veterinaria**, Málaga, v. 7, n. 6, p. 1-6, 2006.

AÑÓN, M.C.; CALVELO, A. Freezing rate effects on the drip loss of frozen beef. **Meat Science**, v. 4, n. 1, p. 1-14, 1980. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/0309-1740\(80\)90018-2](http://dx.doi.org/10.1016/0309-1740(80)90018-2)>. Acesso em: 06 jan. 2017.

ARIHARA, K., CASSENS, R. G., GREASER, M. L., LUCHANSKY, J. B., & MOZDZIAK, P. E. (1995). Localization of metmyoglobin-reducing enzyme (NADHcytochrome b5 reductase) system components in bovine skeletal muscle. **Meat Science**, 39(2), 205-213. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/03091740\(94\)P1821-C](http://dx.doi.org/10.1016/03091740(94)P1821-C)

ARIMA, H.K. Maturação de Carnes. In: *Avanços na Qualidade da Carne e seus Impactos na Indústria Brasileira*. **Anais...** Piracicaba, 2003.

AROEIRA, C. N. **Efeitos do congelamento prévio à maturação na maciez e cor da carne de tourinhos Nelore e Anberdeen Angus**. 2014. 104 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

AROEIRA, C. N.; FILHO, R. A. T.; FONTES, P. R.; et al. Freezing , thawing and aging effects on beef tenderness from *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle. *Meat Science*, v. 116, p. 118–125, 2016. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.02.006>>. Acesso em:

BALLIN, N.Z.; LAMETSCH, R. Analytical methods for authentication of fresh vs. thawed meat – A review. *Meat Science*, Barking, v. 80, p. 151-158, 2008.

BIANCHINI, W. et al. Efeito do grupo genético sobre as características de carcaça e maciez da carne fresca e maturada de bovinos superprococes. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 36, n. 6, p. 2109-2117, 2007 (Suplemento).

BOAKYE, K.; MITTAL, G. S. Chances in colour of beef *M. longissimus dorsi* muscle during ageing. *Meat Science, Barking*, v. 42, n. 3, p. 347-354, 1996. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/0309-1740\(95\)00025-9](http://dx.doi.org/10.1016/0309-1740(95)00025-9)>. Acesso em: 06 jan. 2017.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Decreto nº 72718, de 29 de agosto de 1973**. Estabelece normas gerais sobre irradiação de alimentos. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 30 ago. 1973.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria da Divisão Nacional da Vigilância Sanitária de Alimentos nº 9, de 08 de março de 1985**. Diário Oficial da União, 13 mar. 1985.

_____. Ministério da Saúde. **Portaria da Divisão Nacional da Vigilância Sanitária de Alimentos nº 30, de 25 de setembro de 1989**. Diário Oficial da União, 28 set. 1989.

_____. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução nº 21, de 26 de janeiro de 2001**. Aprova o “Regulamento técnico para irradiação de alimentos”. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 29 jan. 2001.

_____. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução – RDC nº 21 de 26 de janeiro de 2001**. Dispõe sobre o regulamento técnico para irradiação de alimentos. Diário Oficial da União. Brasília, 29 jan. 2001.

_____. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução RDC nº 21, de 26 de janeiro 2001**. Aprova o “Regulamento Técnico para Irradiação de Alimentos”. Lex: Diário Oficial da União, 29 de janeiro de 2001. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/21_01rdc.htm>. Acesso em: 13 dez. 2016.

BRESSAN, M. C., ROSSATO, L. V., RODRIGUES, E. C., ALVES, S. P., BESSA, R. J. B., RAMOS, E. M., & GAMA, L. T. (2011). Genotype × environment interactions for fatty acid profiles in *Bos indicus* and *Bos taurus* finished on pasture or grain. *Journal of Animal Science*, 89(1), 221-232. doi: 10.2527/jas.2009-2672

BREWER, M.S. Irradiation effects on meat color - a review. **Meat Science**, v. 68, p. 1-17, 2004. Disponível em: <[http:// dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.02.007](http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.02.007)>. Acesso em: 07 fev. 2017.

_____. Irradiation effects on meat flavor: a review. **Meat Science**, v. 81, p. 1-14, 2009. Disponível em: <[http:// dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.07.011](http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.07.011)>. Acesso em: 07 fev. 2017.

BREWER, M.S.; WU, J. Consumer sensory evaluations of aging effects on beef quality. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 73, n. 1, p. 78-82, jan. 1993.

BROUGHTON, K.S.; SHELLITO, S.M.; MAIORANO, G. Comparison of muscle fatty acids profiles and cholesterol concentrations of bison, beef cattle, elk, and chicken. *Journal of Animal Science*, v.80, p. 1202-1211.1997

CAMPBELL, M.K. Lipídeos e Membranas. In: _____. *Bioquímica*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2000. cap.6. p. 202-239.

CARPENTER, C.E.; CORNFORTH, D.P.; WHITTIER, D. Consumer preferences for beef color and packaging did not affect eating satisfaction. **Meat Science**, v. 57, n. 4, p. 359-363, 2001.

CFA. MA. Coordenação de Febre Aftosa. Ministério da Agricultura. **Febre Aftosa, 2013**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/animal/saude-animal/programas/febreaftosa>>. Acesso em: 14 ago. 2018.

CHEN, M.-T., YANG, W.-D., & GUO, S.-L. Differentiation between fresh beef and thawed frozen beef. **Meat Science**, v.24, n.3, p.223-226, 1988. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0309-1740\(88\)90080-0](http://dx.doi.org/10.1016/0309-1740(88)90080-0)

COLLA, L.M.; HERNÁNDEZ, C.P. Congelamento e Descongelamento – Sua Influência sobre os Alimentos. **Vetor**, Rio Grande, v. 13. p. 53-66, 2003.

DAMEN, F.W.M.; STEENBEKKERS, L.P.A. Consumer behaviour and knowledge related to freezing and defrosting meat at home: An exploratory study. **British Food Journal**, v. 109, n. 7, p. 511-518, 2007.

DIEHL, J.F. **Safety of irradiation foods**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 1995.

DOMENE, S.M.A. A contribuição da carne bovina para uma alimentação saudável. In: CONGRESSO BRASILEIRO DAS RAÇAS ZEBUÍNAS. 2002. 5., **Anais...** Uberaba, 2002. Disponível em: <<http://www.sic.org.br/PDF/Contribuicaoodecarne.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2018.

DU, M.; AHN, D.; NAM, K.; SELL, J. Influence of dietary conjugated linoleic acid on volatile profiles, color and lipid oxidation of irradiated raw chicken meat. **Meat Science**, v. 56, n. 4, p. 387–395, 2000.

DUCKETT, S.K. Effects os nutrition and management practices on marbling deposition and composition, 2000. Disponível em: <http://www.cabpartners.com/news/research/duckett_nutrition.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2018.

ESKIN, E.; SHAHIDI, D. Effects of heat on meat proteins: implications on structure and quality of meat products. **Meat Science**, Barking, v. 70, n. 3, p. 493-508, July 2013.

EVANS, M.E.; BROWN, J.M.; MCINTOSH, M.K. Isomer- especific effects of conjugated linoleic acid (CLA) on adiposity and lipid metabolism. **Journal of Nutritional Biochemistry**, v.13, p. 508-516, 2002.

FAROUK, M.M.; WIELICZKO, K. J. Effect of diet and fat content on the functional properties of thawed beef. **Meat Science**, v. 64, n. 4, p. 451-458, 2003. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00214-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00214-0)>. Acesso em: 27 ago. 2017.

FAROUK, M. M. Ultra-fast freezing and low storage temperatures are not necessary to maintain the functional properties of manufacturing beef. **Meat Science**, v. 66, p. 171–179, 1990

FAROUK, M. .; SWAN, J. . Effect of Muscle Condition Before Freezing and Simulated Chemical Changes During Frozen Storage on the pH and Colour of Beef. **Meat Science**, v. 50, n. 2, p. 245–256, 1998.

FAUSTMAN, C.; CASSENS, R.G. The biochemical basis for discoloration in fresh meat: A review. **Journal of Muscle Foods**, v. 1, n. 3, p. 217-243, 1990.

FELLOWS, P.J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. Porto Alegre: Artmed, 2008.

FREITAS, A.K. **Características da carcaça, da carne e perfil dos ácidos graxos de novilhos Nelore inteiros ou castrados em duas idades**. 2006. 84 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Escola de veterinária, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2006.

GAMBUTEANU, C.; BORDA, D.; ALEXE, P. The effect of freezing and thawing on technological properties of meat: review. **Journal of Agroalimentary Processes and Technologies**, Timisoara, v. 19, n. 1, p. 88-93, 2013.

GERMANO, P.M.L.; GERMANO, M.I.S. **Higiene e vigilância sanitária de alimentos**. São Paulo: Varela, 2011.

GRUNDY, S.M.; DENKE, M.A. Dietary influences on serum lipids and lipoproteins. **Journal Lipid Research**, v. 31, p. 1149-1172, 1990.

HANENIAN, R.; MITTAL, G. S. Effect of freezing and thawing on meat quality. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 2, p. 74-80, 2004.

HORNSTRA, G. Essential fatty acids in mothers and their neonates. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 71, p.1262S-1269S, 2000.

HUANG, L.; XIONG, Y. L.; KONG, B.; HUANG, X.; LI, J. Influence of storage temperature and duration on lipid and protein oxidation and flavour changes in frozen pork dumpling filler. **Meat Science**, v. 95, n. 2, p. 295-301, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.034>>. Acesso em: 16 jun.2018

HUGHES, J.M. et al. A structural approach to understanding the interactions between colour, water-holding capacity and tenderness. **Meat Science**, Barking, v. 98, n. 3, p. 520-532, Nov. 2014.

IAEA. International Atomic Energy Agency. **Irradiation of spices, herbs and other vegetable seasonings**: a compilation of technical data for its authorization and control (IAEA – TECDOC – 639). Vienna, 1992.

IAEA. International Atomic Energy Agency. Trade promotion of irradiated food (IAEA – TECDOC – 391). Vienna, 1986.

IOWA STATE UNIVERSITY. University Extension. **Food safety project**: The history of food irradiation. Disponível em: <<http://www.extension.iastate.edu/foodsafety/rad/irhistory.html>>. Acesso em: 26 jan. 2017.

JEONG, J.Y.; KIM, G.D.; YANG, H.S.; JOO, S.T. Effect of freeze–thaw cycles on physicochemical properties and color stability of beef semimembranosus muscle. **Food Research International**, v. 44, n.10, p. 3222-3228, 2011). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2011.08.023>>. Acesso em: 17 mai.2018

KANATT, S.R.; PAUL, P.; D'SOUZA, S.F. et al. Effect of gamma irradiation on lipid peroxidation in chicken, lamb and buffalo meat during chilled storage. **Journal of Food Safety**, v.17, nA, p.283-294, 1997.

KIM, Y.H.B.; LIESSE, C.; KEMP, R.; BALAN, P. Evaluation of combined effects of ageing period and freezing rate on quality attributes of beef loins. **Meat Science**, v. 110, p. 40-45, 2015. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030917415300437>>. Acesso em: 18 mar.2018

KING, D.A.; SHACKELFORD, S.D.; KUEHN, L.A.; KEMP, C.M.; RODRIGUEZ, A.B.; THALLMAN, R.M.; WHEELER, T.L. (Contribution of genetic influences to animal-to-animal variation in myoglobin content and beef lean color stability. **Journal of Animal Science**, v. 88. n. 3, p. 1160-1167, 2010.

KING, D.A. et al. Sampling and aging effects on beef longissimus color stability measurements. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 90, n. 10, p. 3596-3605, Oct. 2012.

KLONT, R. E.; BROCKS, L.; EIKELENBOOM, G. Muscle fibre type and meat quality. *Meat Science*, Barking, v. 49, n. 1, p. 219-229, 1998.

KOOHMARAIE, M.; GEESINK, G.H. Contribution of postmortem muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system. *Meat Science*, Barking, v. 74, n. 1, p. 34-43, Sept. 2006.

KRZYWICKI, K. (1979). Assessment of relative content of myoglobin, oxymyoglobin and metmyoglobin at the surface of beef. *Meat Science*, 3(1), 1-10. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0309-1740\(79\)90019-6](http://dx.doi.org/10.1016/0309-1740(79)90019-6)

LADEIRA, M.M.; OLIVEIRA, R.L. Estratégias nutricionais para melhoria da carcaça bovina. In: SIMPÓSIO SOBRE DESAFIOS E NOVAS TECNOLOGIAS NA BOVINOCULTURA DE CORTE. 2006, 2., *Anais...* Brasília, 2006. Disponível em: <<http://www.upis.br/simboi/anais/estrat%20E9gias%20nutricionais%20para%20melhoria%20da%20carca%20a%20bovina%20%20m%20Elrcio%20machado%20ladeira.pdf>> Acesso em: 01 ago. 2018.

LADIKOS, D.; WEDZICHA, B. L. The chemistry and stability of the haemprotein complex in relation to meat. *Food Chemistry*, London, v. 29, p. 143-155, 1988.

LEDWARD, D. A. Metmyoglobin formation in beef stored in carbon dioxide enriched and oxygen depleted atmospheres, *Journal of Food Science*, v.35, p.33-37, 1970.

LEYGONIE, C.; BRITZ, T. J.; HOFFMAN, L.C. Meat quality comparison between fresh and frozen/thawed ostrich *M. iliofibularis*. *Meat Science*, v. 91, n. 3, p. 364-368, 2012.

LOBATO, J.F.P.; FREITAS, A.K. Carne bovina: Mitos e verdades. In: CACHAPUZ, J.M.S.; SOUZA, F.A.L.; PINHEIRO, A.C. *et al. Pecuária Competitiva*. Porto Alegre: Ideograf, 2006. p. 93-115.

MACDONALD, H.B. Conjugated linoleic acid and disease prevention: a review of current knowledge. *Journal of the American College of Nutrition*, v.19, p. 111s-118s, 2000.

MACDOUGALL, D. B. Changes in colour of meat. *Food Chemistry*, London, v. 9, p. 75-88, 1982.

MACHADO, M.M. Efeito do congelamento e estocagem sobre a qualidade da carne bovina. 2009. 41p (Mestrado em Medicina Veterinária) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2009.

MALISKA, C. Conservação de alimentos por irradiação. *Higiene alimentar*, Minas Gerais, v. 11, n. 68/69, p. 6-17, 2000.

- MANCINI, R.A.; HUNT, M.C. Current research in meat color. **Meat Science**, v. 71, n.1, p.100-121, 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.03.003>>. Acesso em: 12 fev.2017
- MANCINI, R.A.; RAMANATHAN, R. Effects of postmortem storage time on color and mitochondria in beef. **Meat Science**, Barking, v. 98, n. 1, p. 65-70, Sept. 2014.
- MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Lista de estabelecimentos brasileiros habilitados à exportação de carnes “in natura” e de produtos à base de carne para UE / EUA/ Cingapura / África do Sul / Suíça / Israel/ Filipinas / Canadá / Chile, 2016. Disponível em: <<http://www.mapa.org.br>>. Acesso: 14 ago. 2018.
- MARTIN, C.A.; ALMEIDA, V.V.; RUIZ, M.R. Ácidos graxos poliinsaturados ômega-3 e ômega-6: importância e ocorrência em alimentos. **Revista de Nutrição**, v. 19, p. 761-770, 2006.
- MCKENNA, D.R.; MIES, P.D.; BAIRD, B.E.; PFEIFFER, K.D.; ELLEBRACHT, J.W.; SAVELL, J. W. Biochemical and physical factors affecting discoloration characteristics of 19 bovine muscles. **Meat Science**, v. 70, n. 4, p. 665-682, 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.02.016>>. Acesso em: 22 set.2018
- MILLAR, S. J.; MOSS, B. W.; STEVENSON, M. H. The effect of ionising radiation on the colour of beef , pork and lamb. **Meat Science**, v. 55, p. 349-369, 2000.
- NABILGHOBRI, C. **Gestão tecnológica para instalação de um irradiador de alimentos**. 2008. 271 p. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear – Aplicações) - Instituto de Pesquisas em Energia Nuclear, São Paulo, 2008.
- NAM, K. C.; AHN, D. U. Use of antioxidants to reduce lipid oxidation and off-odor volatiles of irradiated pork homogenates and patties. **Meat Science**, v. 63, p. 1-8, 2003.
- O'KEEFFE, M.; HOOD, D.E. Biochemical factors influencing metmyoglobin formation on beef from muscles of differing colour stability. **Meat Science**, v. 7, n. 3, p. 209-228, 1992.
- OLIVEIRA, K. C. F.; SOARES, L. P.; ALVES, A. M. Irradiação de alimentos: Extensão da vida útil de frutas e legumes. **Saúde & Ambiente em Revista**, v. 7, n. 2, p. 52–57, 2012.
- ORNELLAS, C. B. D. et al. Atitude do consumidor frente à irradiação de alimentos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 1, p. 211-213, 2006.
- PAINE, F.A.; PAINE, H.Y.; A. **Handbook of food packing**. Glasgow: Blackie Academic & Professional , 1983, 497 p.
- PARIZA, M.W.; PARK, Y. Mechanism of action of conjugated linoleic acid: evidence and speculation. **Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine**, v. 223, p. 8-13, 2000.

PARIZA, M.W.; PARK, Y. The biologically active isomers of conjugated linoleic acid. **Progress in lipid Research**, v. 40, p.283-298, 2001.

PASSOS, F.R. **Avaliação do uso da radiação gama na conservação de carnes**. 2009. 50 p. TCC – Engenharia de Alimentos. Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2009.

PEREIRA, A.S.C. Irradiação em alimentos. **Revista Nacional da Carne**, São Paulo, v. 324, p. 53-62, fev. 2004.

PIRKO, P.C.; AYRES, J.C. Pigment changes in packaged beef during storage. **Food Technology**, Chicago, v. 11, n.6, p. 461-468, 1957.

POTTER, N. N. **Food science**. The AVI Publishing Company, Inc., 1986.

RAMOS, E.M.; GOMIDE, L.A.M. **Avaliação da qualidade de carne: fundamentos e metodologias**. Viçosa-MG: UFV, 2007. 599 p.

RAMOS, E. M., GOMIDE, L. A. M., RAMOS, A. L. S., & PETERNELLI, L. A. Effect of stunning methods on the differentiation of frozen-thawed bullfrog meat based on the assay of β -hydroxyacyl-CoA-dehydrogenase. **Food Chemistry**, v.87, n.4, p.607-611, 2004. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.01.013>

SANGIOVANNI, J.P.; CHEW, C.S.; Dietary essential fatty acids, long-chain polyunsaturated fatty acids, and visual resolution acuity in healthy fullterm infants: a systematic review. *Early Humn Development*, v.57, p.165-188. 2005.

SANTOS, A.F.; VIZEU, D.M; DESTRO, B.D.G.M. et al. Determinação da dose de radiação gama para reduzir a população de Salmonella spp. em carne de frango. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 200-205, maio/ago. 2003.

SARANTÓPOULOS, C.I.G.L.; OLIVEIRA, L.M.; CANAVESI, E. Requisitos de Conservação de Alimentos em Embalagens Flexíveis. Campinas: CETEA/ITAL, 2001. 213p.

SEYFERT, M. et al. Color stability, reducing activity, and cytochrome c oxidase activity of five bovine muscles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Washington, v. 54, n. 23, p. 8919-8925, Nov. 2006.

SILVA, D. R. G.; FILHO, R. A. T.; CAZEDEY, H. P.; FONTES, P. R.; RAMOS, A. L.S.; RAMOS, E. M. Comparison of Warner–Bratzler shear force values between round and square cross-section cores from cooked beef and pork *Longissimus muscle*. **Meat Science**, v. 103, p. 1–6, 2008. Elsevier Ltd. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0309174014005208>.

SILVA, J.A. **Tópicos da tecnologia de alimentos**. São Paulo: Varela, 2000.

STETZER, A.J. et al. Effect of enhancement and ageing on flavor and volatile compounds in various beef muscles. **Meat Science**, v. 79, p. 13-19, 2008.

TAMURA, S.J. Effect of gamma irradiation on the microstructure and post-mortem anaerobic metabolism of bovine muscle. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 61, p. 163-169, 1983.

THYHOLT, K.; ISAKSSON, T. Differentiation of frozen and unfrozen beef using near-infrared spectroscopy. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 73, p. 525-532, 1997.

TROY, D.J.; KERRY, J.P. Consumer perception and the role of science in the meat industry. **Meat Science**, Barking, v. 86, n. 1, p. 214-226, Sept. 2010.

VIEIRA, C.; DIAZ, M.T.; MARTÍNEZ, B.; GARCÍA-CACHÁN, M.D. Effect of frozen storage conditions (temperature and length of storage) on microbiological and sensory quality of rustic crossbred beef at different states of ageing. **Meat Science**, v. 83, n. 3, p. 398-404, 2009.
Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.06.013>>. Acesso em:

WIENDL, F.M. Irradiação de alimentos. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, n. 45, p. 03-25, 1978.

WILLIAMS, C.M. Dietary fatty acids and human health. **Annales Zootechnie**, v. 49, p. 65-180, 2000.

YOU DIM, K.A.; MARTIN, A.; Essential fatty acids and the brain: possible health implications. **International Journal of Developmental Neuroscience**, v.18, p. 383-399, 2000.

ZEOLA, N.M.B.L. et al. Parâmetros qualitativos da carne ovina: um enfoque à maturação e marinação. **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias**, Lisboa, v. 102, p. 215-224, 2007.

PARTE DOIS

ARTIGO 1

Artigo redigido conforme a norma da revista *Asian-Australasian Journal of Animal Science*
“Versão Preliminar”

**EFEITOS DA IRRADIAÇÃO GAMA E DO CONGELAMENTO NA COR E PERFIL
LIPÍDICO DE CARNES DE BOVINOS NELORE**

Gamma irradiation and freezing effects on color and lipid profile of Nelore beef

RESUMO

Objetivo: Avaliar os efeitos da radiação gama e do congelamento prévios a maturação na coloração e perfil lipídico da carne bovina.

Método: Diferentes doses de irradiação (0, 3, 6 e 9 kGy) foram aplicadas em amostras congeladas (-18°C/24 h) e não-congeladas (4 °C) de contrafilés (*Longissimus thoracis et lumborum*), esquerdo e direito, de animais da raça Nelore (*Bos indicus*) e então maturadas (1°C) por 1 e 14 dias. As amostras congeladas foram descongeladas (4 °C/24 h) antes da maturação. As amostras foram avaliadas quanto ao pH, taxa de consumo de oxigênio (TCO), atividade redutora de metamioglobina (MRA), proporção de pigmentos heme e, cor instrumental (CELAB) e sensorial. As amostras não maturadas também foram avaliadas quanto a oxidação lipídica (substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico – TBARS; e índice de peróxidos - IP) e ao perfil de ácido graxos.

Resultados: Os valores de pH das amostras submetidas ao congelamento reduziram ($P < 0,05$) após 14 dias de maturação. O processo de congelamento reduziu ($P < 0,05$) os valores da TCO apenas no primeiro dia de maturação e os valores da MRA em ambos os tempos. A MRA das amostras não congeladas reduziu ($P < 0,05$) com a aplicação de maiores doses de irradiação. Maiores doses de irradiação implicaram em uma maior redução ($P < 0,05$) na proporção de oximioglobina das amostras congeladas do que nas não-congeladas. A proporção de metamioglobina aumentou ($P < 0,05$) com maiores doses de irradiação e com o tempo de maturação. Maiores doses de irradiação reduziram ($P < 0,05$) os valores de tonalidade da cor das amostras congeladas, mas não afetaram ($P > 0,05$) a cor das amostras não-congeladas. Os

consumidores perceberam as amostras não-congeladas irradiadas por 9 kGy como sendo as mais claras, independentemente do tempo de maturação. Maiores doses de irradiação implicaram ($P < 0,05$) em maiores valores de TBARS e as amostras congeladas em menores ($P < 0,05$) valores de IP. Foi verificado uma redução ($P < 0,05$) no teor de ácidos graxos insaturados, especialmente da série ômega 3, com a aplicação de maiores doses de radiação gama.

Conclusão: A radiação gama e o congelamento provocaram alterações na proporção de pigmentos heme das carnes, com pouco efeito sobre a cor instrumental e com aumento da percepção de cor clara. A irradiação implicou em aumento na oxidação lipídica da carne, com consequente redução nos ácidos graxos insaturados.

Palavras-chave: CIELAB, ácidos graxos, sensorial, *Bos indicus*.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o quinto maior país do mundo em território, com 8,5 milhões de quilômetros quadrados de extensão, e cerca de 20% da sua área (174 milhões de hectares) é ocupada por pastagens. O país pode atender a qualquer mercado no mundo, sejam nichos específicos, com carnes mais nobres, cortes de menor valor, carnes mais magras ou com maior teor de gordura, ou sob qualquer demanda de volume. A década de 2000 foi marcada pela consolidação do Brasil como potência na produção e exportação de carne bovina. No entanto, o valor pago pela carne bovina brasileira ainda é inferior àquele pago a outros países produtores e exportadores, devido ao fato de haver grande diversidade de sistemas de criação no Brasil, o que proporciona uma maior variabilidade dos atributos de qualidade da carne bovina brasileira [1, 2].

Atualmente, apenas a garantia de um alimento seguro já não é suficiente para atender as expectativas dos consumidores mais exigentes, sendo que estes estão dispostos a pagar mais caro por garantia de qualidade, principalmente quanto a cor, suculência e maciez da carne bovina. O principal problema para a qualidade da carne bovina brasileira é a sua maciez e, neste contexto, alguns autores têm sugerido o uso da irradiação gama e do congelamento da carne bovina com o intuito de favorecer este atributo [3-5].

A irradiação gama é um processo utilizado para conservação de alimentos com excelente resultado para controle bacteriano em carnes frescas. Porém, este processo é responsável pela geração de radicais livres, que podem induzir à oxidação lipídica e outras mudanças químicas,

incluindo mudanças na cor da carne. A oxidação lipídica pode induzir uma mudança no perfil lipídico da carne, o que afeta diretamente sua qualidade, visto que os lipídeos têm papel determinante na aceitação da carne, já que sua concentração e composição influenciam fortemente as propriedades sensoriais (textura, sabor, cor e aroma). No que diz respeito à coloração, este é o primeiro aspecto sensorial observado pelo consumidor e, desta forma, é fator determinante no ato da compra de carnes. Quanto ao congelamento, este processo é um dos métodos mais eficientes na preservação de alimentos, uma vez que pode manter um nível aceitável da qualidade da carne ao longo do tempo. Ocorre que o congelamento pode ser utilizado como forma de minimizar os efeitos negativos da irradiação gama sobre a qualidade da carne, pois as moléculas de água ficariam indisponíveis para a reação de radiólise, diminuindo assim, a formação de radicais livres e, conseqüentemente, os impactos sobre a oxidação lipídica seriam menores. Entretanto, o congelamento e descongelamento também podem contribuir para uma rápida deterioração da coloração da carne, reduzindo significativamente o seu tempo de exposição no varejo [6, 7].

Assim, o objetivo deste trabalho foi estudar os efeitos da radiação gama e do congelamento na cor e perfil lipídico de contrafilés (músculo *Longissimus thoracis*) bovinos de animais da raça Nelore.

MATERIAL E MÉTODOS

Obtenção e irradiação das amostras

Os animais e a amostragem utilizada no presente trabalho foram os mesmos descritos no experimento de Rodrigues et al [8]. Resumidamente, amostras de contrafilés (músculos *Longissimus thoracis* et *lumborum*), esquerdo e direito, de 8 animais da raça Nelore, com idade, sistema de criação e condições de abate semelhantes, foram obtidos 48 horas *post mortem* de um abatedouro frigorífico (Plena Alimentos Ltda.) com Inspeção Federal localizado em Contagem, Minas Gerais. De cada contrafilé, peças de aproximadamente 5,0 cm de espessura (unidade experimental, UE), foram pesadas, identificadas e individualmente embaladas à vácuo (náilon-poliétileno de 10 micrômetros de espessura). As UEs dos contrafilés da direita foram destinadas ao tratamento convencional (Controle; não-congeladas) e as dos contrafilés da esquerda ao congelamento prévio à maturação (Congelado), sendo congeladas em freezer convencional (-18 °C/24 h) antes do processo de irradiação.

As amostras de cada tratamento (Controle e Congelado) foram armazenadas em caixas térmicas e enviadas ao Irradiador Gama IR-214 (MDS Nordion; fonte de cobalto-60 e taxa de 1925,8 Gy/h) do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN/CNEN), localizado no campus da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, onde foram submetidas a diferentes doses de radiação gama (3, 6, 9 kGy). As amostras não-irradiadas (0 kGy), foram mantidas nas mesmas condições de temperatura e por períodos de tempo semelhante às amostras irradiadas. Após irradiação, as amostras foram conduzidas ao Laboratório de Tecnologia de Carnes e Derivados (LabCarnes), do Departamento de Ciência dos Alimentos (DCA), da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no município de Lavras, MG, e as UEs foram aleatoriamente distribuídas em dois tempos (1 e 14 dias *post mortem*) de maturação (1 °C), conduzido em câmara climática (modelo EL202, EletroLab, Brasil). As amostras do tratamento congelado (congeladas e irradiadas) foram primeiramente descongeladas por 24 horas sob refrigeração (4°C) e, então, maturadas pelo período determinado.

Bifes de 2,5 cm de espessura foram obtidas de cada UE após os períodos de maturação e utilizados nas análises de pH, atividade redutora de metamioglobina (MRA), taxa de consumo de oxigênio (TCO) e avaliação instrumental da cor. As amostras não maturadas foram ainda avaliadas quanto a cor sensorial, oxidação lipídica e perfil de ácidos graxos.

Análise do pH

O pH foi medido em triplicata, diretamente no músculo com um eletrodo de penetração ligado a um potenciômetro portátil (modelo HI 99163; Hanna Instruments Woonsocket, RI, EUA).

Atividade redutora de metamioglobina

A atividade redutora de metamioglobina (MRA) foi avaliada de acordo com o método atividade redutora de metamioglobina óxido nítrico (NORA) proposto por Watts et al [9], com modificações sugeridas por Ramos and Gomide [10]. Amostras de tamanho 5,0 x 5,0 cm (e 2,5 cm de espessura) foram obtidas e cortadas ao meio, obtendo-se duas peças com 5 x 5 x 1,25 cm. As peças foram imersas em solução de nitrito de sódio 0,3% por 20 min, para induzir a formação de metamioglobina (MMb). Após imersão, as peças foram secas com papel toalha, embaladas à vácuo e o espectro de reflectância (420 a 780 nm, em intervalos de 10 nm) imediatamente obtido com um colorímetro CM-700d (Kônica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japão) com porta de abertura de 8

mm. As peças foram, então, mantidas por 2 h à temperatura ambiente (25°C), para induzir a redução da MMb a nitrosomioglobina (NOMb), quando nova leitura do espectro foi conduzida. O colorímetro foi previamente calibrado com o filme da embalagem a vácuo cobrindo a cerâmica branca padrão e as leituras das amostras foram conduzidas sobre uma placa branca de poliestireno. A concentração relativa de MMb antes e após o período de incubação foi estimada pelo método matemático de Krzywicki [11]. A MRA expressa como a percentagem de MMb reduzida após 2 h sob vácuo. A proporção de formação de metamioglobina inicial (MMbi), medida imediatamente após oxidação das amostras com nitrito também foi registrada e utilizada como indicativo da MRA.

Taxa de consumo de oxigênio

A taxa de consumo de oxigênio (TCO) foi avaliada pela conversão da oximioglobina (O_2Mb) a deoximioglobina (Mb^+) na superfície dos cortes sob vácuo, segundo o procedimento descrito por Madhavi and Carpenter [12], com modificações sugeridas por Ramos and Gomide [10]. Amostras de tamanho 5,0 x 5,0 cm (e 2,5 cm de espessura) foram obtidas como descrito anteriormente. A superfície recém cortada das peças foi exposta ao ar atmosférico por 60 min em ambiente refrigerado (4 °C) para completa oxigenação (*blooming*). Após o *blooming*, as peças foram embaladas à vácuo e o espectro de reflectância (420 a 780 nm, em intervalos de 10 nm) imediatamente obtido com um colorímetro CM-700d (Kônica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japão) com porta de abertura de 8 mm. As peças foram, então, mantidas por 20 min à temperatura ambiente (25°C), quando nova leitura do espectro foi conduzida. O colorímetro foi previamente calibrado com o filme da embalagem a vácuo cobrindo a cerâmica branca padrão e as leituras das amostras foram conduzidas sobre uma placa branca de poliestireno. A concentração relativa de O_2Mb antes e após o período de incubação foi estimada pelo método matemático de Krzywicki [11], e a TCO expressa como a percentagem de O_2Mb reduzida após 20 min sob vácuo.

Avaliação instrumental da cor

A avaliação instrumental da cor foi conduzida de duas formas: determinação dos índices de cor instrumental no sistema CIELAB; e estimativa da proporção das formas químicas da mioglobina. Para cada tempo de maturação, as amostras foram analisadas utilizando um colorímetro espectrofotométrico CM-700 (Kônica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japão), com porta de abertura de 8mm, iluminante A e ângulo de 10° para o observador. O aparelho foi calibrado para

fazer as leituras utilizando o modo “luz especular incluída” (SCI) e o modo “luz especular excluída” (SCE). As amostras foram previamente expostas ao ar atmosférico por 60 min para oxigenação (*blooming*) e a leitura realizada em cinco medições que representavam a totalidade da superfície de cada amostra.

A partir dos dados obtidos no modo SCE, os índices luminosidade (L^*), índice de vermelho (a^*) e índice de amarelo (b^*) foram registrados e a saturação (C^*) e o ângulo de tonalidade de (h) determinados pelas seguintes fórmulas [10]: $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{0,5}$; e $h = \tan^{-1} (b^*/a^*)$.

A partir curvas de reflectância entre 360 a 740 nm (intervalo de 10 nm) obtidas no modo SCI, as proporções das formas químicas da mioglobina, foram estimadas pelo método matemático de Krzywicki [11]. Os valores intermediários (473, 525 e 572 nm) de reflectância foram determinados por interpolação linear e o conteúdo relativo dos pigmentos heme, expressos como oximioglobina (O_2Mb), deoximioglobina (Mb^+) e metamioglobina (MMb).

Avaliação sensorial da cor

Para avaliação da percepção sensorial da cor das amostras com os tratamentos, foram utilizadas fotografias das amostras nos diferentes tempos de armazenagem. Em cada tempo de amostragem, os bifes após 60 min de *blooming* (antes da avaliação instrumental da cor) foram fotografados em estúdio fotográfico Photosimile 100 (Photo Studio, Ortery), constituído de quatro lâmpadas (Philips Ecotone PL-L 865/4p; 18W, 6500 K, 1200 lm e 80 Ra), por uma câmara fotográfica Canon PowerShot SX120 IS, de 12 megapixels, posicionada a 34 cm da amostra e programada para foco automático e velocidade ISO 80. Imagens de seções retangulares de 50 x 130 mm da região central dos bifes de um animal (escolhido aleatoriamente) foram obtidas no programa Corel Draw 10 e “emolduradas” em fundo preto.

A avaliação foi conduzida em duas etapas. Na primeira, seis avaliadores não treinados, participaram de uma seção de testes (Técnica de Rede) em que foram utilizadas todas as imagens dos bifes a fim de se estabelecer duas imagens para compor as âncoras do teste de perfil descritivo otimizado (PDO): a imagem mais representativa de uma cor vermelha brilhante foi considerada “ideal” e a de cor menos aceitável foi descrita como “clara” pelos avaliadores.

Na segunda etapa, foram recrutados 62 avaliadores não treinados (66% eram do sexo feminino e 34% do sexo masculino), predominantemente jovens (76 % com idade entre 18 e 35 anos, 16% entre 36 e 45 anos e apenas 8% entre 56 e 65 anos) e com nível de escolaridade elevada (32% com

2º grau completo, 16% com graduação e 52% com pós-graduação). A avaliação das amostras foi feita em uma única seção, sendo as imagens apresentadas de forma monádica em um monitor de vídeo, seguindo um delineamento de blocos completos, em que cada julgador avaliou todas as amostras. Juntamente com cada imagem a ser avaliada, foi apresentado as imagens referências (“ideal” e “clara”), para comparação dos julgadores, facilitando a alocação das intensidades de cor na escala [13]. Os julgadores foram solicitados a comparar a imagem de cada amostra com os materiais de referência, indicando a intensidade da cor em uma escala estruturada de 10 pontos, em que “0” representava amostras de cor ideal e “9” amostras claras.

Oxidação lipídica

A estabilidade oxidativa das carnes foi avaliada apenas no dia 1 pelo índice de peróxido (IP) e pelo número de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS),

O IP foi determinado por modificações do método de PCA-FOX proposto por Gay and Ebicki [14], com modificações sugeridas por Dutra et al [15]. Seis gramas da amostra foram homogeneizadas (TE-102; Tecnal, Piracicaba, SP, Brasil) em 25 mL de metanol refrigerado (-18°C) por 30 s e centrifugados a 1400g por 3 min. Uma alíquota do sobrenadante (suficiente para conter 75 µM de hidroperóxidos), foi adicionada de 200 µL de solução analítica (2,5 mM de sulfato ferroso de amônio em solução de ácido perclórico 1,10 M) e o volume completado para 2 mL com água destilada. Após 30 min de incubação à temperatura ambiente e ao abrigo da luz, a absorbância da solução foi lida a 560 nm em espectrofotômetro GENESYS 10 (Thermo Fisher Scientific). A concentração de hidroperóxidos foi determinada a partir de curva analítica com hidroperóxido de cumeno (CHP) e os resultados expressos em mg e CHP/Kg de amostra.

O índice de TBARS foi determinado segundo metodologia proposta por Raharjo et al [16], com pequenas modificações. Porções de 10g de amostra foram homogeneizadas (TE-102; Tecnal, Piracicaba, SP, Brasil) em 40 mL de ácido tricloroacético (TCA) a 5% e 1 mL de butilhidroxitolueno (BHT) a 0,15% (em etanol) por 30 s. O homogenato foi filtrado em papel filtro e alíquotas de 2 mL foram transferidas para tubos de ensaio, adicionadas de 2 mL de ácido tiobarbitúrico (TBA) 0,08 M e os tubos mantidos em banho-maria fervente por 5 minutos. Após arrefecimento, os homogenatos foram lidos a 532 nm em espectrofotômetro GENESYS 10 (Thermo Fisher Scientific). Os valores de TBARS foram expressos em miligramas de

malonaldeído (MAD) por quilograma de amostra (mg MDA/kg), a partir de curva analítica utilizando 1,1,3,3 tetraethoxipropano (TEP).

Perfil de ácidos graxos

A análise da composição de ácidos graxos das carnes também foi avaliada apenas no dia 1, sendo feita por cromatografia gasosa após extração dos lipídeos, pelo método de Folch et al [17], e esterificação, pelo método proposto por Hartman and Lago [18]. No processo de extração, foram pesados 3 g de amostra, adicionadas de 50 mL de solução clorofórmio/metanol (2:1), devidamente homogeneizados em triturador tipo Turrax. Em seguida, as amostras foram mantidas sob agitação por 2 horas, em um misturador orbital, em temperatura ambiente. O homogenato foi filtrado em papel filtro e colocados no tubo de centrífuga com 10 mL de solução salina KCl 0,72% e homogeneizados. Após, foi centrifugado a 3000 rpm por 20 minutos, de onde foi retirado e recolhido a fase inferior e descartada a superior. Em seguida, as amostras foram colocadas em funil de separação, e adicionadas de 6 mL de solução salina KCl 0,72% e mantidos em repouso por 30 minutos em funil de separação. Foram adicionados nesta etapa, uma colher pequena de sulfato de anidro em cada papel filtro. Posteriormente, recolheu-se a fase inferior, completando em um balão de 50 mL com clorofórmio. Do produto final, obtido na etapa de extração, retirou-se 5 mL e foram colocados em tubo de centrífuga. Após, foram evaporados o clorofórmio com N₂ em banho-maria, 45- 55°C. Adicionou então, 4 mL de NaOH 0,5M em Metanol e em seguida colocados, em banho fervente por 5 min e resfriados com água gelada. Foram adicionados 5 mL de reagente esterificante, devidamente encaminhados ao banho fervente por 5 min e resfriados com água gelada. Foram adicionados após, 4 mL de NaCl saturado, e agitados por 10 segundos. Em seguida, acrescidos 5 mL de hexano e devidamente agitados as amostras por mais 10 segundos. As amostras permaneceram em repouso por 10 minutos para separação e então, foram transferidas 3-4 mL para frasco âmbar. Na etapa final, evaporou-se com N₂ em banho maria de 45-55°C e foram adicionados 1 mL de hexano para realizar leitura. Os extratos foram submetidos à em cromatógrafo Shimatzu CG 2010 (Agilent Technologies Inc., Palo Alto, CA, USA), com temperatura do injetor = 260°C e temperatura do detector = 260°C. O modo será split 1:20, a uma velocidade linear de 20 cm/s, com rampa de aquecimento temperatura inicial de 140°C (5 min), e uma taxa de aquecimento de 4°C/min até 240°C (30min). A coluna utilizada será SP2560 (100m x 0,25mm diâmetro interno x 0,20µm de espessura de filme. A identificação dos ácidos graxos foi feita através da comparação com os

tempos de retenção apresentados pelo padrão cromatográfico Supelco™37 FAME Mix (Supelco Inc., Bellefonte, PA, USA) e expressos em porcentagem do total de ácidos graxos identificados e posteriormente agrupados em: total de ácidos graxos saturados (SAT), total de ácidos graxos monoinsaturados (MON), total de ácidos graxos poli-insaturados (POL), total de ácidos graxos ômega 6 e ômega 3 e suas relações.

Análise estatística

O experimento foi conduzido em um delineamento de blocos casualizados (DBC), com os blocos constituídos de diferentes animais (8 repetições). Para os valores de pH, análise instrumental da cor, MRA e TCO, os dados foram dispostos em esquema de parcelas divididas, com os tratamentos (controle e congeladas) na parcela, a dose de irradiação (0, 3, 6 e 9 kGy) na sub-parcela e o tempo de maturação (1 e 14 dias) na sub-sub-parcela. Para as avaliações de oxidação (IP e TBARS) e perfil de ácidos graxos, os dados também foram dispostos em esquema de parcelas divididas, com os tratamentos na parcela e a dose de irradiação na sub-parcela. Os efeitos principais e as interações dos fatores foram determinados pela análise de variância (ANOVA) e, quando necessário, pelo teste de Tukey, considerando um nível de significância de 5%. As análises estatísticas foram realizadas no software SAS, versão 9.2 (Statistical Analysis System; SAS Institute Inc., Cary, NC, EUA), utilizando o procedimento SAS GLM.

Os dados obtidos na análise sensorial foram analisados utilizando um Mapa de Preferência Interno (MPI) e os índices instrumentais de cor e os pigmentos relativos da mioglobina foram relacionados com as notas obtidas no teste PDO através da análise de componentes principais (PCA). As análises e os gráficos MPI e PCA foram gerados utilizando o software Sensomaker® versão 1.91 (UFLA, Brasil).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efeitos sobre os valores de pH, MRA e TCO

Na Tabela 1 estão sumarizados os resultados obtidos para as análises de pH, MRA, MMB_i e TCO.

Foi observado um efeito significativo ($P < 0,05$) da interação tratamento x tempo de maturação para os valores de pH, sendo os efeitos decompostos e representados na Figura 1. Os

valores de pH das amostras não congeladas (controle) não diferiram ($P > 0,05$) com o tempo de maturação (média de $5,60 \pm 0,02$), enquanto o pH das amostras submetidas ao congelamento reduziu ($P < 0,05$) após 14 dias de maturação. Segundo Ruiz de Huidobro et al [19], o pH decresce nas 24 horas *post mortem* mas torna-se estável durante a maturação, devido ao fato de que quando ocorre o congelamento e descongelamento da carne, o congelamento causa alteração na força iônica, por causa da perda de solutos na células, fazendo com que o pH diminua.

Tabela 1. Efeitos do tratamento (T), dose de radiação gama (R) e tempo de maturação (M) sobre os valores (média \pm desvio padrão) de pH, atividade redutora de metamioglobina (MRA), formação inicial de metamioglobina (MMbi) e taxa de consumo de oxigênio (TCO) em contrafilés (*L. thoracis et lumborum*) bovinos.

Efeitos	Fontes de Variação	pH	MRA (%)	MMbi (%)	TCO (%)
Tratamento (T)	Não-congelado	5,60 \pm 0,13	32,43 \pm 11,51	33,26 \pm 14,65	67,23 \pm 30,70
	Congelado	5,49 \pm 0,09	18,93 \pm 10,24	37,36 \pm 5,81	56,63 \pm 25,82
Radiação gama, kGy (R)	0	5,53 \pm 0,13	28,27 \pm 17,52	34,52 \pm 11,17	65,22 \pm 30,29
	3	5,55 \pm 0,12	25,50 \pm 14,02	34,86 \pm 11,61	63,63 \pm 28,42
	6	5,55 \pm 0,13	22,20 \pm 8,13	36,59 \pm 10,77	63,19 \pm 28,36
	9	5,56 \pm 0,10	26,75 \pm 8,96	35,27 \pm 12,00	55,68 \pm 28,30
Maturação, dias (M)	1	5,58 \pm 0,10	30,53 \pm 12,08	31,04 \pm 14,48	81,86 \pm 18,69
	14	5,52 \pm 0,13	20,83 \pm 11,67	39,57 \pm 3,24	42,00 \pm 22,58
$Pr > F$ ¹	T	<0,001	<0,001	0,232	0,056
	R	0,672	0,048	0,304	0,065
	RxT	0,823	0,011	0,120	0,331
	M	0,002	<0,001	<0,001	<0,001
	TxM	0,022	0,025	0,003	0,006
	RxM	0,983	0,148	0,963	0,409
	RxTxM	0,343	0,419	0,686	0,856

Não-congelado = amostras refrigeradas, irradiadas e maturadas (1°C); e Congelado = amostras congeladas (-18 °C/24 h), irradiadas, descongeladas (4 °C/24h) e maturadas (1°C).

¹Probabilidades significativas ($P < 0.05$) pelo teste F foram marcadas em negrito.

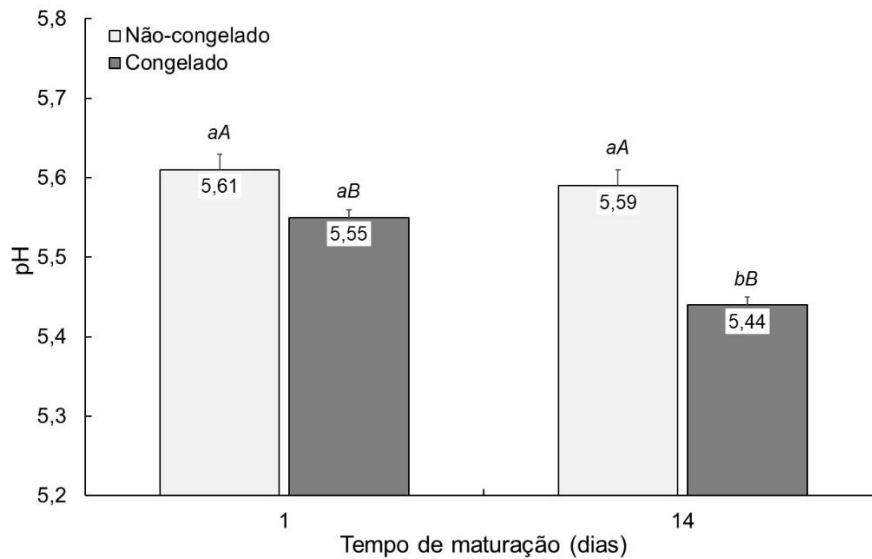


Figura 1. Valores médios (+ erro padrão da média) de pH de contrafilés (*L. thoracis et lumborum*) bovinos durante a maturação (1 °C) em dois tratamentos: Não-congelado = amostras refrigeradas e irradiadas; e Congelado = amostras congeladas (-18 °C/24 h), irradiadas e descongeladas (4 °C/24h). Letras iguais maiúsculas (AB), entre os tratamentos em cada tempo de maturação, e minúsculas (ab), para cada tratamento entre os tempos de maturação, não diferem ($P > 0,05$) entre si.

Os valores de pH das amostras congeladas foram menores ($P < 0,05$) do que nas amostras controle em ambos tempos de maturação. O congelamento e subsequente descongelamento da carne implica em uma maior perda de exsudado [8], o que pode ocasionar desnaturação de proteínas tampão, provocando a liberação de íons H^+ e consequente queda de pH [6]. Esses resultados são similares ao encontrado por Aroeira et al [20] e Kim et al [21] que observaram um efeito significativo quando avaliado a interação congelamento x tempo de maturação, sendo que os valores de pH também foram menores para amostras congeladas e descongeladas quando comparadas ao tratamento controle (refrigerada). Porém diferem do que foi descrito por Carolino et al [22], que não observaram diferenças entre os valores de pH de carnes congeladas e maturadas por 10 dias em relação às amostras maturadas durante o mesmo período, e o valor do pH da carne não variou significativamente entre carnes frescas e congeladas. Em estudo realizado por de Paula [23] avaliando congelamento prévio e controle à maturação das amostras, foi verificado efeito

significativo apenas para o efeito isolado, com as amostras congeladas apresentando valores ligeiramente menores do que as amostras controle.

Para a atividade redutora de metamioglobina (MRA) (Tabela 1), houve efeito ($P < 0,05$) para interação tratamento x tempo de maturação, sendo que amostras controle apresentaram maior ($P < 0,05$) MRA do que as amostras congeladas, independentemente do tempo de maturação. Em ambos os tratamentos, houve um decréscimo significativo nos valores de MRA com o tempo de maturação (Figura 2).

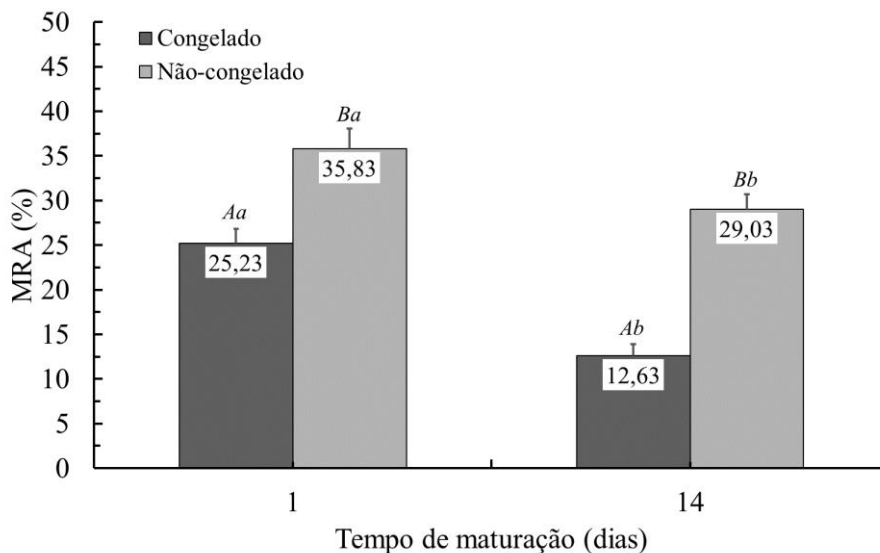


Figura 2. Valores médios (+ erro padrão da média) da atividade redutora de metamioglobina (MRA) de contrafilés (*L. thoracis et lumborum*) bovinos durante a maturação (1 °C) em dois tratamentos: Congelado = amostras congeladas (-18 °C/24 h), irradiadas e descongeladas (4 °C/24h); e Não-congelado = amostras refrigeradas e irradiadas. Letras iguais maiúsculas (AB), entre os tratamentos em cada tempo de maturação, e minúsculas (ab), para cada tratamento entre os tempos de maturação, não diferem ($P > 0,05$) entre si.

Leygonie et al [6] destaca que no músculo fresco a MRA é muito ativa, mas com o tempo de maturação ou congelamento a MRA é reduzida. Acredita-se que a MRA na carne ocorre principalmente pela ação de um sistema de enzimas redutoras, NADH dependentes, presentes no músculo [24, 25] e que são capazes de reduzir a forma férrica da mioglobina (metamioglobina,

MMb) à forma ferrosa (deoximioglobina, Mb⁺). Também há evidências de que a redução da MMb também pode ocorrer por via não enzimática, diretamente pela ação de cofatores como NADH e NADPH [26]. Feldhusen et al [27] e Bekhit et al [28] sugeriram que a quantidade de NADH presente na carne tem maior participação na estabilidade da cor que a MRA.

A perda de MRA na carne pós-rigor é influenciada por fatores como queda no pH muscular, esgotamento e, ou, degradação de substratos e cofatores, ou completa perda de integridade estrutural e funcionalidade mitocondrial [29]. Segundo Añón and Calvelo [30], a redução nos valores de MRA pode ser devido à perda de cofatores, como o NADH, do ambiente sarcoplasmáticos *post mortem* para o exsudato por lixiviação durante a purga e, ou, descongelamento ou, ainda, pela oxidação das enzimas envolvidas na MRA, devido ao aumento na concentração do soluto com esta exsudação. Segundo Aroeira et al [7], há evidências de que a perda da integridade estrutural da membrana celular, devido à formação de cristais de gelo, cause a liberação a enzima β -hydroxyacyl-CoAdehydrogenase (HADH) da mitocôndria no sarcoplasma, que converte o acetoacetylCoA em hidroxibutiril-CoA pela oxidação do NADH e H⁺ a NAD⁺ e H₂O [31]. Desta forma, o cofator NADH não estaria mais disponível para a ação da MRA. Além disso, Wagner and Añón [32] relataram que as proteínas miofibrilares são desnaturadas pelo congelamento, sendo que, esse efeito é mais pronunciado no congelamento lento. Segundo estes autores, essa desnaturação ocorre devido o desdobramento parcial da molécula de proteína causando a exposição dos grupos hidrofóbicos, que acarretaria na união de proteínas durante o armazenamento congelado. Esse desdobramento é consequência do aumento da força iônica na fibra ou pela perda de água das proteínas miofibrilares devido ao congelamento.

Uma redução na MRA com o tempo de maturação tem sido reportada por vários autores [29, 33, 34], mas os efeitos do congelamento sobre a MRA ainda são relativamente escassos. Enquanto alguns estudos verificaram um aumento da MRA [27, 35] ao longo do armazenamento refrigerado da carne bovina, Lanari and Cassens [36] não observaram alterações na MRA. Jeong et al [37] não observaram diferenças significativas na atividade de MRA de músculos *Semimembranosus* bovinos submetidos ao congelamento e descongelamento e maturados por 7 dias a 4 °C quando comparado com as amostras controle (não congeladas). Estes autores, no entanto, reportaram uma redução significativa na atividade de MRA durante a maturação.

Para os valores de MRA, também foi observado efeito ($P < 0,05$) da interação tratamento x dose de radiação gama (Figura 3), sendo que as amostras congeladas não foram afetadas ($P > 0,05$)

pela irradiação. De forma contrária, foi observado uma redução significativa nos valores de MRA com a aplicação da radiação gama nas amostras não congeladas. Isto está de acordo com as observações de Lefebvre et al [38] de que os níveis de MRA em amostras bovinas irradiadas com 1 kGy foram maiores do que as irradiadas a 2,5 e 5,0 kGy. De acordo com esses autores a radiação gama diminui a MRA das carnes por degradar substratos e cofatores necessários à redução da MMb. Durante a irradiação, a água é alvo de elétrons altamente energizados e a radiólise da molécula de água pode gerar uma variedade de espécies reativas, como radicais livres [3-5], que podem estar associadas à esta degradação. Assim, a irradiação das amostras ainda congeladas parece ter inibido a perda destes substratos e cofatores, uma vez que parte substancial das moléculas de água não estariam disponíveis para a reação de radiólise, reduzindo a formação de radicais livres [39], e a dispersão dos radicais formados é menor quando a água livre está congelada [4].

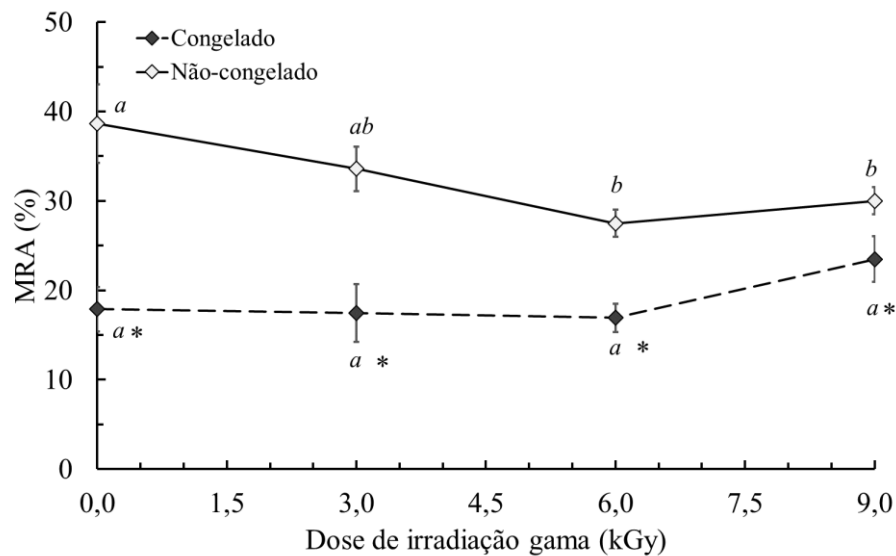


Figura 3. Efeito da radiação gama nos valores médios (\pm erro padrão da média) de atividade redutora de metamioglobina (MRA) de contrafilés (*L. thoracis et lumbrorum*) bovinos em dois tratamentos: Congelado = amostras congeladas (-18 °C/24 h), irradiadas e descongeladas (4 °C/24h); e Não-congelado = amostras refrigeradas e irradiadas. Letras iguais minúsculas (*ab*), para cada tratamento entre as doses de irradiação, não diferem ($P > 0,05$) entre si pelo teste de Tukey. *Médias dos tratamentos, em cada dose de irradiação, diferem ($P > 0,05$) pelo teste F.

Segundo King et al [40], outra forma de medir a atividade redutora da MMb é avaliando a concentração de MMb inicial (MMb_i) formada logo após a sua exposição ao nitrito durante a análise de MRA pelo teste do óxido nítrico (NORA). Para MMb_i, foi verificado efeito ($P < 0,05$) apenas da interação tratamento x tempo de maturação. No tempo inicial de maturação (1 dia), as amostras congeladas possuíam maior ($P < 0,05$) concentração de MMb do que as amostras não congeladas (Figura 4), o que corresponde aos menores valores de MRA observados naquelas amostras. Entretanto, aos 14 dias de maturação, a concentração de MMb não diferiu significativamente entre os tratamentos, diferindo dos valores observados para MRA. Assim, a mensuração do percentual de redução da MMb no teste NORA parece ser mais eficiente na avaliação da capacidade redutora de MMb da carne do que apenas a avaliação da concentração inicial da MMb formada com a exposição ao nitrito.

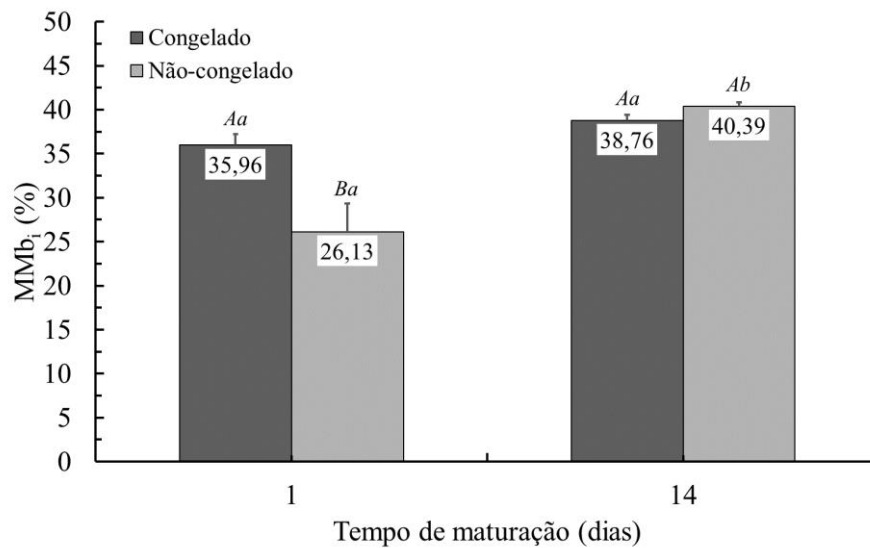


Figura 4. Valores médios (+ erro padrão da média) de metamioglobina inicial (MMb_i) de contrafilés (*L. thoracis et lumbrorum*) bovinos durante a maturação¹ (1 °C) em dois tratamentos²: Congelado = amostras congeladas (-18 °C/24 h), irradiadas e descongeladas (4 °C/24h); e Não-congelado = amostras refrigeradas e irradiadas. ¹Tratamentos no mesmo tempo com letras maiúsculas diferentes (AB) diferem entre si pelo teste F ao nível de 5% de significância. ²Tempos do mesmo tratamento com letras minúsculas diferentes (ab) diferem entre si pelo teste F ao nível de 5% de significância.

Da mesma forma que para MMb_i, foi verificado efeito ($P < 0,05$) apenas da interação tratamento x tempo de maturação para a taxa de consumo de oxigênio (TCO), sendo os efeitos decompostos e representados na Figura 5. As amostras não congeladas diferiram ($P > 0,05$) das amostras congeladas, apresentando uma maior TCO no primeiro dia de maturação. Entretanto, após 14 dias de maturação os valores de TCO reduziram ($P < 0,05$), mas os dois tratamentos não diferiram estatisticamente entre si.

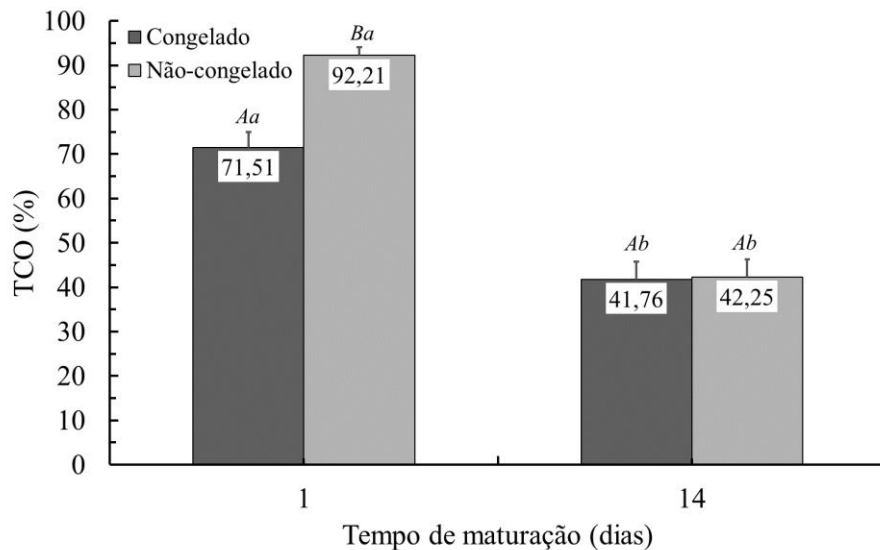


Figura 5. Valores médios (+ erro padrão da média) da taxa de consumo de oxigênio (TCO) de contrafilés (*L. thoracis et lumborum*) bovinos durante a maturação¹ (1 °C) em dois tratamentos²: Congelado = amostras congeladas (-18 °C/24 h), irradiadas e descongeladas (4 °C/24h); e Não-congelado = amostras refrigeradas e irradiadas. ¹Tratamentos no mesmo tempo com letras maiúsculas diferentes (AB) diferem entre si pelo teste F ao nível de 5% de significância. ²Tempos do mesmo tratamento com letras minúsculas diferentes (ab) diferem entre si pelo teste F ao nível de 5% de significância.

Uma redução da TCO com o tempo *post mortem* corrobora as observações de vários autores [12, 33, 34, 41], sendo atribuída à degradação de enzimas e, ou, ao esgotamento de substratos e coenzimas envolvidos na respiração mitocondrial. Uma redução na atividade mitocondrial também explica os menores valores observados nas amostras congeladas em relação às controle no tempo

1, uma vez que Phung et al [42] reportaram que a TCO de mitocôndrias isoladas de músculos suínos reduz com o congelamento e descongelamento.

Efeitos sobre as formas químicas da mioglobina

Os efeitos dos tratamentos (congelado x fresco), irradiação gama, tempo de maturação e tempo de oxigenação nas formas químicas da mioglobina são descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Efeitos do tratamento (T), dose de radiação gama (R) e tempo de maturação (M) sobre os valores (média \pm desvio padrão) de pigmentos relativos da mioglobina de contrafilés (*L. thoracis et lumborum*) bovinos.

Efeitos	Fonte de variação	Mb ⁺ (%)	O ₂ Mb (%)	MMb (%)
Tratamento (T)	Não-congelado	20,27 \pm 4,95	68,05 \pm 5,23	11,68 \pm 2,23
	Congelado	21,71 \pm 4,97	67,14 \pm 5,47	11,15 \pm 2,14
Radiação gama, kGy (R)	0	18,59 \pm 6,70	71,79 \pm 6,45	9,62 \pm 1,99 ^a
	3	20,19 \pm 3,93	68,77 \pm 3,85	11,04 \pm 1,83 ^b
	6	21,33 \pm 3,43	66,71 \pm 3,14	11,97 \pm 1,88 ^c
	9	23,84 \pm 3,85	63,11 \pm 3,12	13,04 \pm 1,54 ^d
Maturação, dias (M)	1	23,14 \pm 4,97 ^a	65,16 \pm 4,64	11,71 \pm 2,28 ^x
	14	18,84 \pm 4,01 ^b	70,03 \pm 4,91	11,13 \pm 2,09 ^y
<i>Pr</i> > <i>F</i> ¹	T	0,323	0,453	0,521
	R	<0,001	<0,001	<0,001
	TxR	0,040	0,035	0,852
	M	<0,001	<0,001	<0,001
	MxT	0,182	<0,001	0,112
	MxR	<0,001	0,045	0,366
	MxTxR	0,454	0,680	0,218

Não-congelado = amostras refrigeradas, irradiadas e maturadas (1°C); e Congelado = amostras congeladas (-18 °C/24 h), irradiadas, descongeladas (4 °C/24h) e maturadas (1°C). ¹Probabilidades significativas ($P < 0.05$) pelo teste F foram marcadas em negrito.

^{xy}Médias com letras diferentes na coluna, dentro de cada efeito, diferem ($P < 0,05$) pelo teste F. ^{a-}

^dMédias com letras diferentes na coluna, dentro de cada efeito, diferem ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Os tratamentos, a irradiação gama e a maturação afetaram ($P < 0,05$) a proporção das três formas químicas na superfície das carnes. Para a deoximioglobina (Mb^+) e oximioglobina (O_2Mb), houve efeito significativo da interação tratamento x dose de irradiação, sendo estes efeitos decompostos e apresentados na Figura 6.

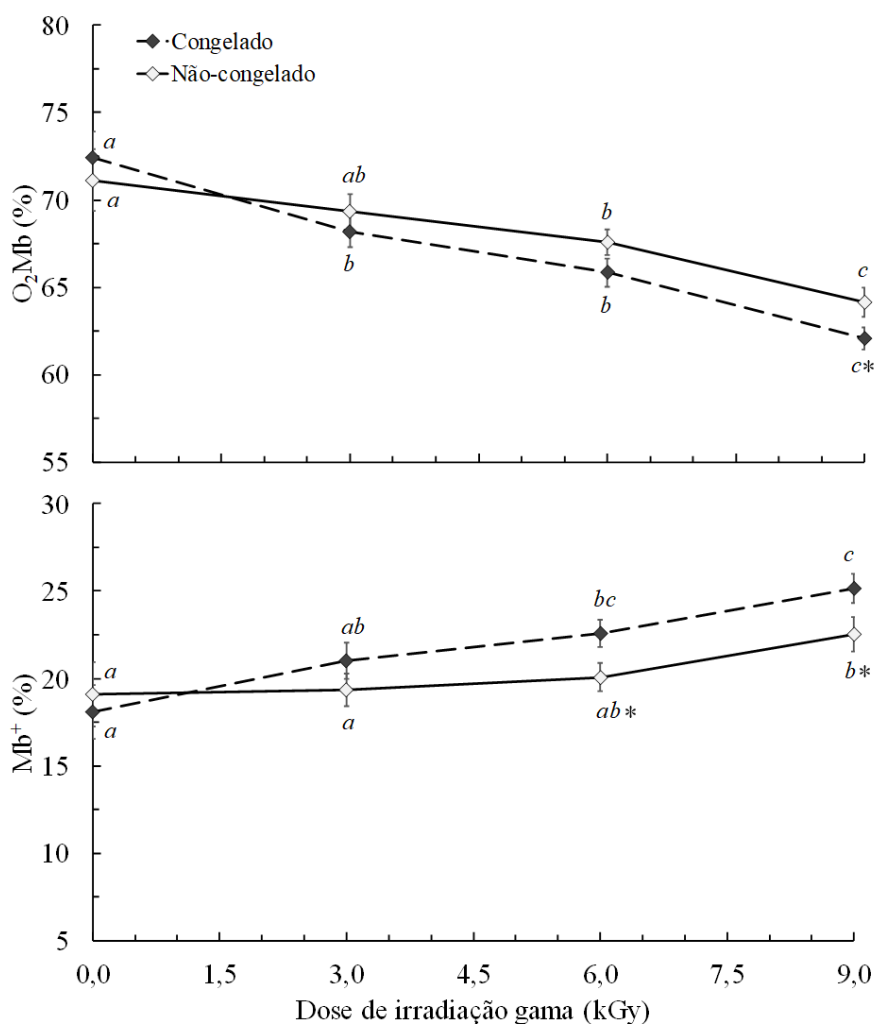


Figura 6. Efeito da radiação gama nos valores médios (\pm erro padrão da média) da proporção de oximioglobina (O_2Mb) e deoximioglobina (Mb^+) de contrafilés (*L. thoracis et lumbrorum*) bovinos em dois tratamentos: Congelado = amostras congeladas ($-18\text{ }^\circ\text{C}/24\text{ h}$), irradiadas e descongeladas ($4\text{ }^\circ\text{C}/24\text{ h}$); e Não-congelado = amostras refrigeradas e irradiadas. Letras iguais minúsculas (*ab*), para cada tratamento entre as doses de irradiação, não diferem ($P > 0,05$) entre si pelo teste de Tukey. *Médias dos tratamentos, em cada dose de irradiação, diferem ($P > 0,05$) pelo teste F.

De forma geral, maiores doses de irradiação implicaram em menores proporções de O₂Mb e maiores proporções de Mb⁺, sendo que em doses maiores que 3 kGy este efeito foi maior nas amostras irradiadas congeladas. Interessante observar que, embora não tenha sido afetado ($P > 0,05$) pelo do tratamento, a proporção de metamioglobina (MMb) aumentou ($P < 0,05$) quando maiores doses de irradiação foram aplicadas (Tabela 2). Uma maior oxidação do pigmento com a irradiação pode ser explicada pela formação de substâncias altamente reativas no processo devido à radiólise na água [3-5].

A redução observada nos valores de MRA nas amostras irradiadas parece ser a responsável, uma vez que a conversão da forma química Mb⁺ para O₂Mb é dependente das condições redutoras na carne [10]. Montgomery et al [43] verificou que a irradiação a 2,0 kGy no período *post mortem* e acondicionamento aeróbico implicou em um aumento na proporção de MMb, sendo atribuído ao esgotamento das enzimas responsáveis pela redução deste pigmento, ou seja, à MRA do músculo. Isso está de acordo com o observado no presente experimento para amostras não-congeladas, em que foi observado uma redução na MRA com a aplicação da irradiação (Figura 3). Além disso, apesar da MRA das amostras congeladas não ter sido afetada ($P > 0,05$) pela irradiação, menores MRA foram observadas nestas amostras (Figuras 3 e 4), o que explica a maior desoxigenação da molécula de mioglobina, com redução de O₂Mb e concomitante aumento na Mb⁺.

Alguns autores [34, 41] sugeriram que o aumento da TCO diminui a estabilidade de cor, uma vez que menos oxigênio está disponível para se ligar à mioglobina, criando condições oxidativas que favorecem a formação da MMb. Além disso, Sammel et al [33] sugeriram que níveis muito baixos de TCO seria prejudicial à estabilidade de cor, porque a respiração mitocondrial se faz necessário para regenerar o NADH, para ser usado como cofator na redução da MMb. Entretanto, os efeitos sobre as formas químicas da mioglobina não parecem estar associados à TCO, uma vez que esta não foi significativamente afetada pela irradiação (Tabela 2). Inicialmente o consumo de oxigênio tem um papel significativo na formação de MMb, mas como a TCO diminui com o armazenamento, a redução da MRA torna-se o fator predominante na manutenção da estabilidade.

A proporção de pigmentos químicos da mioglobina também foi afetada ($P < 0,05$) pelo tempo de maturação, sendo que para a proporção de Mb⁺ e O₂Mb também foi verificado um efeito significativo para a interação irradiação gama x tempo de maturação. Estes efeitos foram decompostos e apresentados na Figura 7. Houve uma diminuição significativa da concentração de O₂Mb no 1º dia de maturação, enquanto que aos 14 dias de maturação, uma diminuição

significativa aconteceu apenas a partir de doses de 6 kGy. Isto pode ser devido ao fato da irradiação promover a redução da MRA, devido a degradação de cofatores necessários para redução da metamioglobina. Em relação à mioglobina reduzida (Mb⁺), com 1 dia de maturação, não foi observado diferença ($P > 0,05$) entre os tratamentos. Aos 14 dias de maturação, houve um aumento gradativo à medida que se aumentou a dosagem de radiação gama aplicada nas amostras, sendo a maior concentração (%) encontrada quando se utilizou 9 kGy.

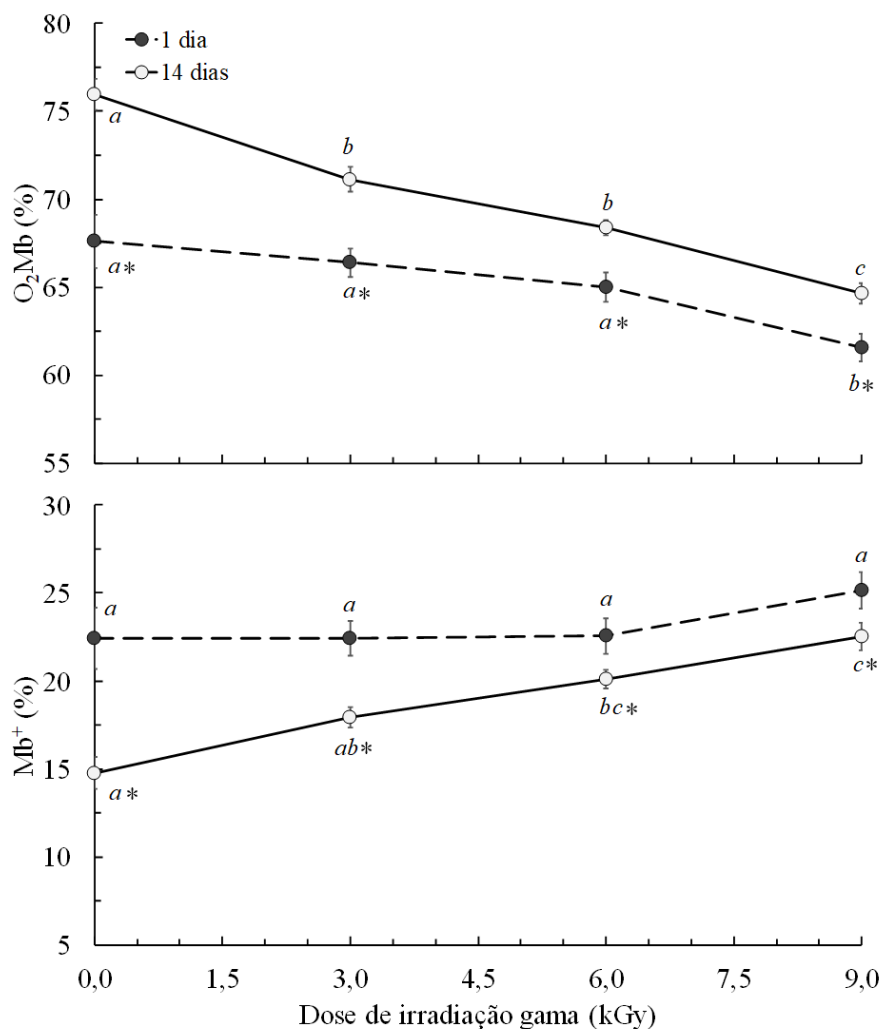


Figura 7. Efeito da radiação gama nos valores médios (\pm erro padrão da média) da proporção de oximioglobina (O₂Mb) e deoximioglobina (Mb⁺) de contrafilés (*L. thoracis et lumborum*) bovinos em dois tempos de maturação. Letras iguais minúsculas (*ab*), para cada tratamento entre as doses de irradiação, não diferem ($P > 0,05$) entre si pelo teste de Tukey. *Médias dos tempos de maturação, em cada dose de irradiação, diferem ($P > 0,05$) pelo teste F.

Para a O₂Mb também foi verificada uma interação significativa entre o tratamento e o tempo de maturação. Após 14 dias de maturação, a proporção de O₂Mb aumentou, com concomitante redução da Mb⁺ e MMb (Figura 8). Isto se deve à grande redução observada nos valores de TCO durante o armazenamento refrigerado (Figura 5), o que resulta em uma maior penetração do oxigênio no interior da carne [34], fazendo com que a O₂Mb seja formada em uma maior profundidade. A TCO se relaciona com a respiração mitocondrial residual *post mortem*, que compete com a mioglobina pelo oxigênio atmosférico que se difunde para o interior da carne [36].

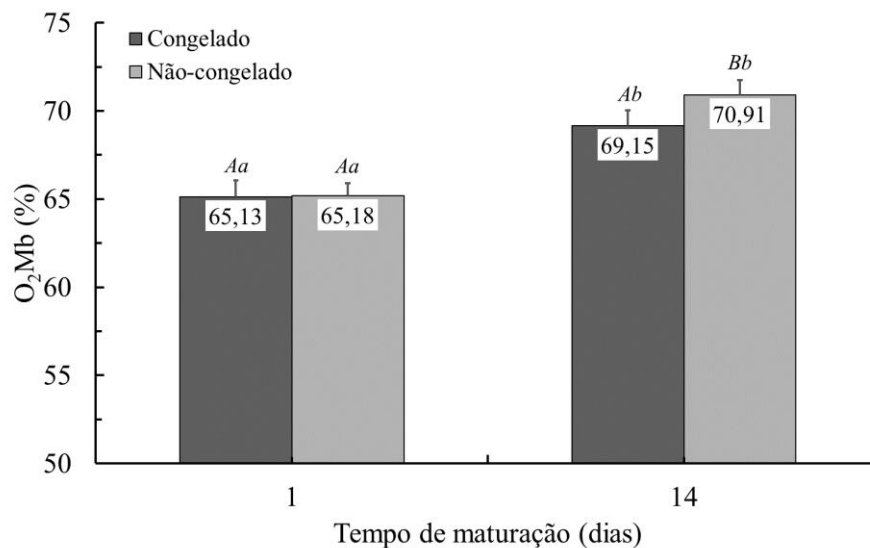


Figura 8. Valores médios (+ erro padrão da média) da proporção de oximioglobina (O₂Mb) em contrafilés (*L. thoracis et lumborum*) bovinos durante a maturação (1 °C) em dois tratamentos: Congelado = amostras congeladas (-18 °C/24 h), irradiadas e descongeladas (4 °C/24h); e Não-congelado = amostras refrigeradas e irradiadas. Letras iguais maiúsculas (AB), entre os tratamentos em cada tempo de maturação, e minúsculas (ab), para cada tratamento entre os tempos de maturação, não diferem ($P > 0,05$) entre si.

Menores valores de TCO explicam as maiores proporções de O₂Mb nas amostras após 14 dias de maturação, mas não explicam as diferenças devido ao tratamento neste período (Figura 6), uma vez que não houve diferença ($P > 0,05$) na TCO das amostras congeladas e não-congeladas após a maturação (Figura 5). Após 14 dias, a maior oxigenação das amostras não-congeladas pode

ser devido à maior MRA observada nestas amostras (Figura 2), favorecendo a maior formação de O₂Mb.

Apesar das mudanças na proporção de O₂Mb e redução nos valores de MRA, a MMb não foi afetada ($P > 0,05$) pelo tratamento. Durante o armazenamento refrigerado a estabilidade da cor da carne deteriora gradualmente, ocasionado por um acúmulo progressivo da MMb na superfície da carne devido à perda da MRA, com consequente descoloração da cor vermelha para uma cor amarronzada [7, 12]. Aroeira et al [7] e outros trabalhos também reportaram um aumento no percentual de MMb com o congelamento, contribuindo para uma rápida deterioração na cor da carne bovina. Chu et al [44] propuseram que o rápido aumento de MMb em amostras estocadas sob congelamento pode ser explicado pela formação de cristais de gelo durante a fase de transição entre o congelamento e descongelamento da carne a -2 °C. Segundo estes autores, é possível que os danos celulares e de compartimentos intracelulares sofridos a partir da ruptura física provocada pelos cristais de gelo, durante o processo de congelamento/descongelamento das carnes, propiciem um maior contato da mioglobina e de lipídeos com substâncias catalisadoras da oxidação. No presente trabalho, no entanto, não houve efeito ($P > 0,05$) do tratamento sobre a MMb no período de maturação estudado.

Efeitos sobre a cor instrumental

Os efeitos dos tratamentos (congelado x fresco), irradiação gama, tempo de maturação e tempo de oxigenação da análise instrumental cor são descritos na Tabela 3. Todos os índices de cor foram afetados pelo tempo de maturação, com as amostras se apresentando mais claras (maiores valores de L^*), com uma tonalidade de vermelho mais amarelada (maiores valores de h) e mais intensa (maiores valores de C^*).

Tabela 3. Efeitos do tratamento (T), dose de radiação gama (R) e tempo de maturação (M) sobre os valores (média \pm desvio padrão) dos índices de cor instrumental de contrafilés (*L. thoracis et lumborum*) bovinos.

Efeitos	Fontes de variação	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	<i>C</i> *	<i>h</i> (graus)
Tratamento (T)	Não-congelado	43,82 \pm 2,73	21,65 \pm 1,76	14,38 \pm 1,80	26,00 \pm 2,41	33,49 \pm 1,67
	Congelado	42,55 \pm 2,62	21,41 \pm 1,63	14,01 \pm 1,61	25,59 \pm 2,20	33,12 \pm 1,46
Radiação gama, kGy (R)	0	42,95 \pm 3,03	21,47 \pm 2,08	14,23 \pm 2,12	25,77 \pm 2,86	33,37 \pm 1,83
	3	42,97 \pm 2,87	21,51 \pm 1,66	14,24 \pm 1,68	25,80 \pm 2,27	33,40 \pm 1,60
	6	43,54 \pm 2,36	21,77 \pm 1,26	14,40 \pm 1,31	26,11 \pm 1,71	33,44 \pm 1,36
	9	43,29 \pm 2,75	21,36 \pm 1,74	13,92 \pm 1,67	25,50 \pm 2,32	33,00 \pm 1,50
Maturação, dias (M)	1	42,07 \pm 2,58 ^a	20,93 \pm 1,82 ^a	13,49 \pm 1,75 ^a	24,91 \pm 2,44 ^a	32,71 \pm 1,61 ^x
	14	44,31 \pm 2,44 ^b	22,13 \pm 1,32 ^b	14,90 \pm 1,35 ^b	26,68 \pm 1,80 ^b	33,90 \pm 1,29 ^y
<i>Pr</i> > <i>F</i> ¹	T	0,266	0,706	0,575	0,641	0,558
	R	0,325	0,578	0,404	0,520	0,256
	TxR	0,956	0,165	0,990	0,476	0,025
	M	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	MxT	0,438	0,587	0,705	0,617	0,667
	MxR	0,440	0,219	0,171	0,209	0,056
	MxTxR	0,879	0,497	0,658	0,556	0,849

Não-congelado = amostras refrigeradas, irradiadas e maturadas (1°C); e Congelado = amostras congeladas (-18 °C/24 h), irradiadas, descongeladas (4 °C/24h) e maturadas (1°C). *L** = luminosidade; *a** = índice de vermelho; *b** = índice de amarelo; *C** = saturação; e *h* = tonalidade.

¹Probabilidades significativas ($P < 0.05$) pelo teste F foram marcadas em negrito.

^{xy}Médias com letras diferentes na coluna, dentro de cada efeito, diferem ($P < 0,05$) pelo teste F.

Um aumento nos valores de L^* com a maturação tem sido reportado em diversos estudos [45-47]. Kim et al [48] ressaltam que este aumento é devido a uma maior quantidade de água livre no meio intracelular oriundo do aumento da capacidade de retenção de água (CRA) da carne com a maturação. Segundo Hughes et al [49], a carne tende a se tornar mais pálida por causa da maturação, pois as alterações na estrutura e nos índices de refração podem proporcionar uma maior dispersão (*scattering*) e reflexão da luz. Outros autores [45-48] têm sugerido que maiores valores de L^* observados com o período de maturação estão associados à redução na TCO, o que confere uma maior oxigenação da molécula de mioglobina, formando maiores proporções de O_2Mb . Menores valores de TCO e maiores proporções de O_2Mb com a maturação também foram encontradas neste experimento, mas, diferentemente dos valores de L^* , os valores de O_2Mb também foram afetados pelo congelamento e pela irradiação. Os valores de L^* não se correlacionaram ($P < 0,05$) com a MRA e as correlações com a TCO ($r = 0,50$; $P < 0,001$) e a proporção de O_2Mb ($r = -0,21$; $P = 0,020$) foram relativamente baixas.

Os resultados observados para L^* contrasta com a observação de outros autores [7, 46, 48] de que carnes submetidas ao processo de congelamento e descongelamento são mais escuras. Segundo Aroeira et al [7], é provável que a grande concentração de solutos, especialmente de pigmentos heme, no meio intracelular ocasionada pelo congelamento/descongelamento contribua para uma maior absorção da luz e, desta forma, seja responsável pela menor luminosidade observada nas carnes congeladas. Estes autores relataram uma maior e positiva correlação ($r = -0,17$ x $0,32$) entre os valores de L^* e a proporção de MMb quando avaliado apenas as amostras congeladas. No presente experimento, no entanto, uma baixa correlação ($r = -0,23$; $P = 0,010$) é observada independentemente do tratamento aplicado.

A saturação representa a intensidade de cor, sendo um bom indicador da oxigenação da carne recém exposta ao ar [7]. Maiores valores de C^* observado com maior tempo de maturação são explicados pela redução na TCO (Figura 5), implicando em maiores proporções de O_2Mb na carne (Figura 6), e condiz com o aumento nos valores de a^* e b^* com a maturação observado em outros trabalhos [7, 45, 46]. Uma alta correlação foi observada entre a O_2Mb e os valores de C^* ($r = 0,62$; $P < 0,001$) neste experimento, similar ao reportado ($r = 0,61$) por Aroeira et al [7] em amostras de animais Nelore e Aberdeen Angus. Altas correlações também foram observadas entre a O_2Mb e os índices de cromaticidade a^* ($r = 0,99$; $P < 0,01$) e b^* ($r = 0,97$; $P < 0,001$). Entretanto, as mudanças na proporção de O_2Mb devido ao congelamento e irradiação (Figuras 6, 7 e 8) não

foram suficientes para alterar a intensidade de cor das carnes, mas afetou ($P < 0,05$) a sua tonalidade (Tabela 3).

A aplicação da irradiação não afetou ($P > 0,05$) os valores de h das amostras não-congeladas, enquanto irradiações acima de 6 kGy resultou ($P < 0,05$) em uma tonalidade mais avermelhada nas amostras congeladas (Figura 9).

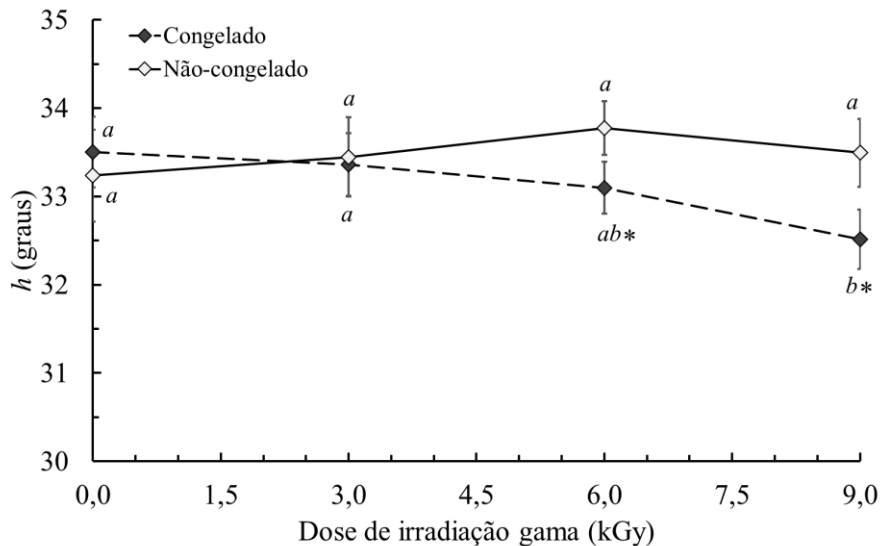


Figura 9. Efeito da radiação gama nos valores médios (\pm erro padrão da média) do ângulo de tonalidade (h) de contrafilés (*L. thoracis et lumborum*) bovinos em dois tratamentos: Congelado = amostras congeladas ($-18\text{ }^{\circ}\text{C}/24\text{ h}$), irradiadas e descongeladas ($4\text{ }^{\circ}\text{C}/24\text{ h}$); e Não-congelado = amostras refrigeradas e irradiadas. Letras iguais minúsculas (ab), para cada tratamento entre as doses de irradiação, não diferem ($P > 0,05$) entre si pelo teste de Tukey. *Médias dos tratamentos, em cada dose de irradiação, diferem ($P > 0,05$) pelo teste F.

Enquanto a saturação é um bom indicador da oxigenação da carne, a descoloração da carne é normalmente acompanhada por um aumento nos valores de h , sendo este índice especialmente sensível na mensuração da estabilidade da cor de carnes [50]. Aroeira et al [7] relataram uma forte correlação ($r = 0,70$) entre a MMb e o índice h . Entretanto, neste experimento uma alta correlação foi encontrada entre os valores h e a O_2Mb ($r = 0,70$; $P < 0,001$), enquanto que para MMb a correlação ($r = -0,22$; $P = 0,014$) foi baixa. Segundo Brewer [4], as alterações no ambiente químico provocada pelo processo de irradiação, associado à suscetibilidade da molécula de mioglobina,

pode induzir a mudanças na coloração da carne. De fato, as alterações observadas no valor h parecem estar altamente associadas às mudanças na proporção de O_2Mb oriundas da aplicação da irradiação gama (Figura 6); ou seja, se devem à dissociação do oxigênio da molécula de mioglobina, induzindo a mudança do pigmento de cor vermelho brilhante (O_2Mb) para um pigmento de cor vermelho púrpura (Mb^+). Isto condiz com a alta correlação também observada entre os valores de h e a proporção de Mb^+ ($r = -0,65$; $P < 0,001$) neste experimento.

Percepção sensorial da cor

Os efeitos dos tratamentos (congelado x fresco), radiação gama e tempo de maturação na percepção da cor da carne, avaliada pelo perfil descritivo otimizado (PDO), são ilustrados nos mapas de preferência interna (MPI) da Figura 10.

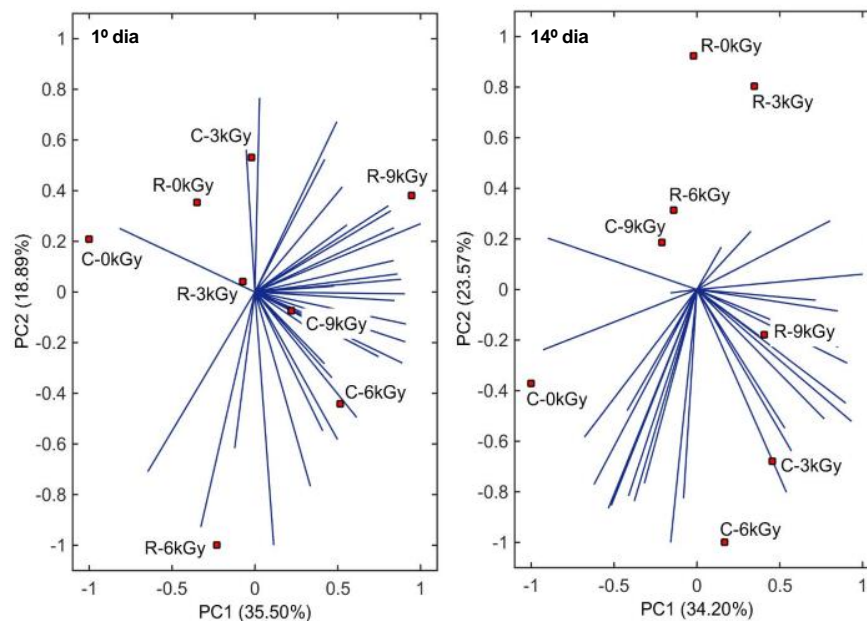


Figura 10. Mapas de preferência interno (MPI) da percepção da cor de contrafilés (*L. thoracis et lumborum*) bovinos irradiados (0, 3, 6 e 9 kGy) e maturados (1 °C) por 1 e 14 dias. R = amostras refrigeradas (não congeladas); e C = amostras congeladas (-18 °C/24 h), irradiadas e descongeladas (4 °C/24h). Vetores representam a nota dos consumidores para amostras mais claras.

Levando em consideração os dados a partir de PC1, uma vez que representam maior porcentagem de resposta (35,50 e 34,20%), avaliando o gráfico de 1 dia de maturação, os consumidores tiveram uma tendência a optarem pelas amostras irradiadas a 9 kGy, congelada e não-congelada, e congelada e irradiada a 6 kGy. Aos 14 dias de maturação, houve uma mudança na percepção do consumidor. A amostra não-congelada e irradiada a 9kGy se manteve como mais clara juntamente com a amostra congelada e irradiada a 3 kGy.

A variação dos índices de cor instrumental (CIELAB) foi confrontada com os resultados da percepção da cor da carne pelo teste de PDO, sendo representadas nos gráficos de componentes principais (PCA) da Figura 11. Em ambas análises de componentes principais, a que melhor representou os dados, foi a PC1 (54,94%). No 1º dia de maturação, a palidez das amostras, se correlacionaram com as concentrações de mioglobina, metamioglobina e mioglobina reduzida, uma vez que estão no mesmo quadrante, sendo assim, se encontram as amostras de 9 kGy refrigerada, 9 kGy congelada, 6 kGy congelada. Altas concentrações de oximioglobina correlacionam-se com baixa palidez, ou seja, amostras pálidas tendem a ter menos oximioglobina, sendo assim apresentam menores valores de h , C^* , a^* , L^* . E as amostras com menor palidez foram as de 0 kGy refrigerada, 3 kGy refrigerada e 6 kGy refrigerada. As amostras congeladas, exceto a 9Kgy refrigerada tenderam à palidez. Aos 14 dias, a palidez se correlacionou a concentração de mioglobina reduzida.

Composição centesimal

Os efeitos dos tratamentos e da radiação gama na composição centesimal e nos teores de colágeno total de contrafilés bovinos estão descritos na Tabela 4. O teor de gordura (extrato etéreo), foi menor ($P < 0,05$) nas amostras submetidas ao processo de irradiação, enquanto que para proteína, menores valores foram observados nas amostras submetidas à 9 kGy.

Tabela 4. Efeitos do tratamento (T) e dose de radiação gama (R) sobre os valores (média \pm desvio padrão) da composição centesimal e teor de colágeno de contrafilés (*L. thoracis et lumborum*) bovinos.

Efeitos	Fontes de variação	Proteína (%)	Umidade (%)	Extrato etéreo (%)	Cinzas (%)	Colágeno total (%)
Tratamento (T)	Não-congelado	22,76 \pm 0,37	73,17 \pm 0,87	1,80 \pm 0,59	2,27 \pm 0,66	1,19 \pm 0,27
	Congelado	22,98 \pm 0,58	72,42 \pm 1,37	1,88 \pm 1,33	2,73 \pm 0,43	1,22 \pm 0,33
Radiação gama, kGy (R)	0	22,44 \pm 0,59 ^a	72,21 \pm 1,41	2,91 \pm 1,34 ^a	2,45 \pm 0,55	1,29 \pm 0,28
	3	22,97 \pm 0,32 ^a	73,15 \pm 1,34	1,46 \pm 0,63 ^b	2,42 \pm 0,78	1,15 \pm 0,35
	6	22,97 \pm 0,41 ^a	72,75 \pm 1,13	1,79 \pm 0,56 ^b	2,50 \pm 0,59	1,23 \pm 0,33
	9	23,10 \pm 0,39 ^b	73,07 \pm 0,79	1,21 \pm 0,32 ^b	2,62 \pm 0,54	1,15 \pm 0,23
<i>Pr > F</i> ¹	T	0,177	0,077	0,787	0,038	0,831
	R	0,031	0,372	0,002	0,911	0,762
	TxR	0,793	0,538	0,641	0,575	0,853

Não-congelado = amostras refrigeradas, irradiadas e maturadas (1°C); e Congelado = amostras congeladas (-18 °C/24 h), irradiadas, descongeladas (4 °C/24h) e maturadas (1°C).

¹Probabilidades significativas ($P < 0.05$) pelo teste F foram marcadas em negrito.

^{ab}Médias com letras diferentes na coluna, dentro de cada efeito, diferem ($P < 0,05$) pelo teste Tukey.

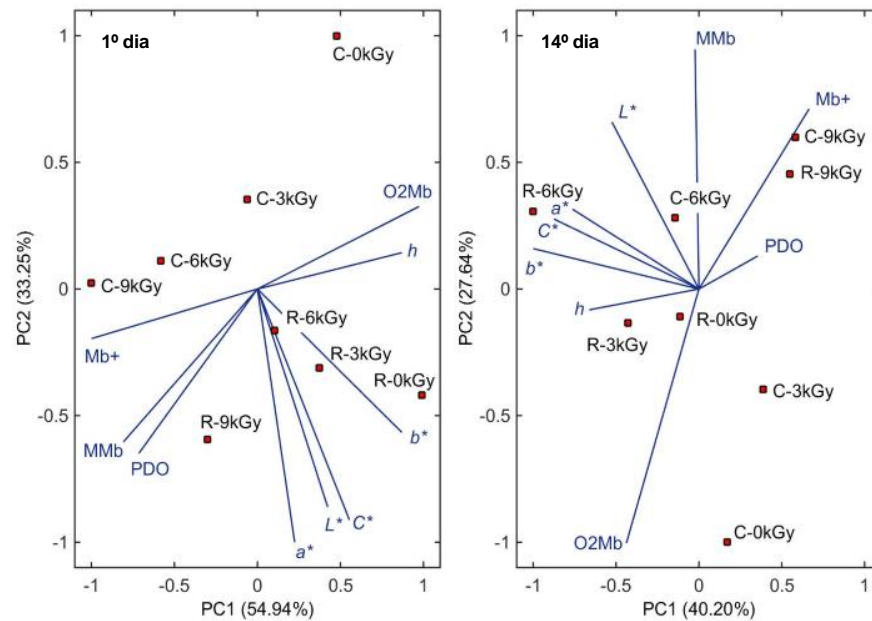


Figura 11. Análise de componentes principais (PCA) dos índices de cor CIELAB associados à média dos escores obtidos para a percepção de cor clara no perfil descritivo otimizado (PDO) de contrafilés (*L. thoracis et lumbrorum*) bovinos irradiados (0, 3, 6 e 9 kGy) e maturados (1 °C) por 1 e 14 dias. R = amostras refrigeradas (não congeladas); C = amostras congeladas (-18 °C/24 h), irradiadas e descongeladas (4 °C/24h); L^* = luminosidade; a^* = índice de vermelho; b^* = índice de amarelo; C^* = saturação; e h = tonalidade.

Oxidação lipídica e perfil de ácidos graxos

A oxidação lipídica foi medida avaliando-se os peróxidos (índice de peróxido; IP) formados no início da oxidação os compostos formados nas reações secundárias, (substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico; TBARS), sendo os resultados apresentados na Tabela 5.

Quando avaliado o índice de peróxido, houve diferença significativa para tratamento. Este resultado difere dos resultados encontrados por Brito et al [51], uma vez que as amostras submetidas ao tratamento congelado apresentaram maiores médias, justificado pelo fato de que o congelamento reduz a velocidade da oxidação lipídica.

Tabela 5. Efeitos do tratamento (T) e dose de radiação gama (R) sobre os valores (média \pm desvio padrão) de índice de peróxido (IP) e substância reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) de contrafilés (*L. thoracis et lumborum*) bovinos.

Efeitos	Fonte de variação	PI (mg CHP/kg)	TBARS _k (mg MAD/kg)
Tratamento (T)	Não-congelado	21,07 \pm 4,04 ^x	0,52 \pm 0,43
	Congelado	27,07 \pm 6,94 ^y	0,50 \pm 0,48
Radiação gama, kGy (R)	0	21,92 \pm 6,23	0,21 \pm 0,23 ^a
	3	23,00 \pm 7,75	0,40 \pm 0,18 ^a
	6	25,50 \pm 7,01	0,43 \pm 0,27 ^a
	9	25,85 \pm 4,32	0,98 \pm 0,59 ^b
<i>Pr</i> > <i>F</i> ¹	T	0,012	0,827
	R	0,520	<0,001
	RxT	0,891	0,456

Não-congelado = amostras refrigeradas, irradiadas e maturadas (1°C); e Congelado = amostras congeladas (-18 °C/24 h), irradiadas, descongeladas (4 °C/24h) e maturadas (1°C).

¹Probabilidades significativas ($P < 0.05$) pelo teste F foram marcadas em negrito.

^{xy}Médias com letras diferentes na coluna, dentro de cada efeito, diferem ($P < 0,05$) pelo teste F.

^{ab}Médias com letras diferentes na coluna, dentro de cada efeito, diferem ($P < 0,05$) pelo teste Tukey.

Na análise de TBARS, o efeito significativo ($P < 0,05$) observado foi quanto a aplicação da radiação gama, sendo que doses de 9 kGy implicaram em maiores valores do que os demais tratamentos. Maiores valores de TBARS são indicativos de uma maior oxidação lipídica, que pode ser oriunda dos radicais livres liberados na radiólise. Lefebvre et al [38] desenvolveram uma pesquisa com carne *in natura* bovina expondo-a a três níveis de radiação gama (1, 2,5 e 5 kGy), sendo monitoradas as propriedades químicas durante o período de estocagem (16 dias a 4°C). A irradiação contribuiu na redução do pH, porém houve aumento dos peróxidos, os ácidos graxos livres não foram afetados, houve um efeito sensível da irradiação na cor e o odor do produto cru, quando comparado ao produto não irradiado. Ahn and Nam [52] apontaram que a oxidação total de lipídios de carne irradiada aumentou com o tempo de armazenamento.

Os efeitos dos tratamentos (congelado x não-congelado) e radiação gama no perfil de ácidos graxos das carnes avaliadas estão descritos nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6. Efeitos do tratamento (T) e dose de radiação gama (R) no perfil de ácidos graxos da carne de contrafilés (*L. thoracis et lumborum*) bovinos.

Ácido Graxo		Tratamento		Dose de irradiação				EPM	<i>Pr > F</i> ¹		
		Não-congelado	Congelado	0 kGy	3 kGy	6 kGy	9 kGy		T	R	TxR
Ác. mirístico	C14:0	2,08	2,05	1,61 ^a	1,75 ^a	1,88 ^a	3,04 ^b	0,16	0,477	0,045	0,607
Ác. miristoléico	C14:1	0,35	0,39	0,32	0,27	0,42	0,47	0,10	0,780	0,099	0,162
Ác. pentadecanóico	C15:0	0,46	0,52	0,42	0,43	0,59	0,52	0,05	0,571	0,409	0,168
Ác. palmítico	C16:0	24,70	24,71	23,96	25,00	24,32	25,53	0,47	0,135	0,134	0,512
Ác. palmitoleico	C16:1	3,56	3,35	4,26 ^a	3,44 ^{ab}	3,34 ^b	2,78 ^b	0,17	0,303	0,004	0,205
Ác. margárico	C17:0	0,87	0,76	0,74	0,80	0,76	0,94	0,05	0,324	0,343	0,773
Ác. esteárico	C18:0	15,26	14,80	14,15	15,04	15,15	15,78	0,43	0,886	0,612	0,089
Ác. oléico	C18:1 c9	35,78	35,89	37,07 ^a	36,12 ^a	35,32 ^{ab}	34,84 ^b	0,59	0,891	0,001	0,417
Ác. linoléico	C18:2 n6	11,57 ^x	12,53 ^y	11,79	12,10	12,56	11,75	0,76	0,032	0,052	0,521
Ác. linolênico	C18:3 n3	1,92	1,78	2,29	2,16	1,47	1,50	0,11	0,079	<0,001	<0,001
Ác. ariquídico	C20:0	0,21	0,18	0,21	0,19	0,26	0,12	0,03	0,594	0,428	0,609
Ác. cetoléico	C20:1	0,30	0,29	0,21	0,25	0,32	0,39	0,03	0,714	0,069	0,284
Ác. eicosatrienóico	C20:3 n6	0,46	0,52	0,40	0,46	0,51	0,59	0,03	0,401	0,291	0,938
Ác. araquidônico	C20:4 n6	2,06	1,79	2,14	1,94	1,87	1,76	0,11	0,644	0,361	0,993
Ác. eicosapentanóico	C20:5 n3	0,79	0,85	0,88	0,81	0,83	0,76	0,05	0,759	0,089	0,012

Não-congelado = amostras refrigeradas, irradiadas e maturadas (1°C); Congelado = amostras congeladas (-18 °C/24 h), irradiadas, descongeladas (4 °C/24h) e maturadas (1°C); EPM = erro padrão da média.

^{xy}Médias com letras diferentes na linha, para os tratamentos, diferem (P<0,05) pelo teste F.

^{ab}Médias com letras diferentes na linha, para as doses de irradiação, diferem (P<0,05) pelo teste Tukey.

Tabela 7. Efeitos do tratamento (T) e dose de radiação gama (R) no somatório e relações de ácidos graxos da carne de contrafilés (*L. thoracis et lumborum*) bovinos.

Característica		Tratamento		Dose de irradiação				EPM	Pr > F ¹		
		Não-congelado	Congelado	0 kGy	3 kGy	6 kGy	9 kGy		T	R	TxR
ΣSaturados	SAF	43,57	43,03	41,09	43,21	42,97	45,93	1,03	0,133	0,904	0,120
ΣMonoinsaturados	MUFA	39,99	39,92	41,86 ^a	40,08 ^a	39,40 ^{ab}	38,48 ^b	0,87	0,531	<0,001	0,268
ΣPolinsaturados	PUFA	16,81	17,47	17,50	17,48	17,24	16,36	1,09	0,175	0,247	0,678
ΣInsaturados	UFA	56,80	57,39	59,36	57,56	56,64	54,84	0,85	0,215	0,861	0,864
ΣÔmega-3	n3	2,72	2,63	3,17	2,98	2,30	2,26	0,18	0,504	0,980	0,520
ΣÔmega-6	n6	14,09 ^x	14,84 ^y	14,33	14,50	14,94	14,10	1,05	0,032	0,899	0,726
Razão UFA/SFA		1,31	1,34	1,44	1,33	1,32	1,20	0,05	0,139	0,800	0,315
Razão n6/n3		5,20	6,14	4,55	4,92	6,57	6,63	0,44	0,086	0,940	0,553

Não-congelado = amostras refrigeradas, irradiadas e maturadas (1°C); Congelado = amostras congeladas (-18 °C/24 h), irradiadas, descongeladas (4 °C/24h) e maturadas (1°C); EPM = erro padrão da média.

^{xy}Médias com letras diferentes na linha, para os tratamentos, diferem (P<0,05) pelo teste F.

^{ab}Médias com letras diferentes na linha, para as doses de irradiação, diferem (P<0,05) pelo teste Tukey.

Houve efeito significativo ($P < 0,05$) da interação tratamento x dose de radiação gama apenas para os ácidos graxos da série ômega 3 (n3): α -linolênico (C18:3 n3); e eicosapentanoico (EPA; C20:5 n3). A decomposição destes efeitos é representada na Figura 12.

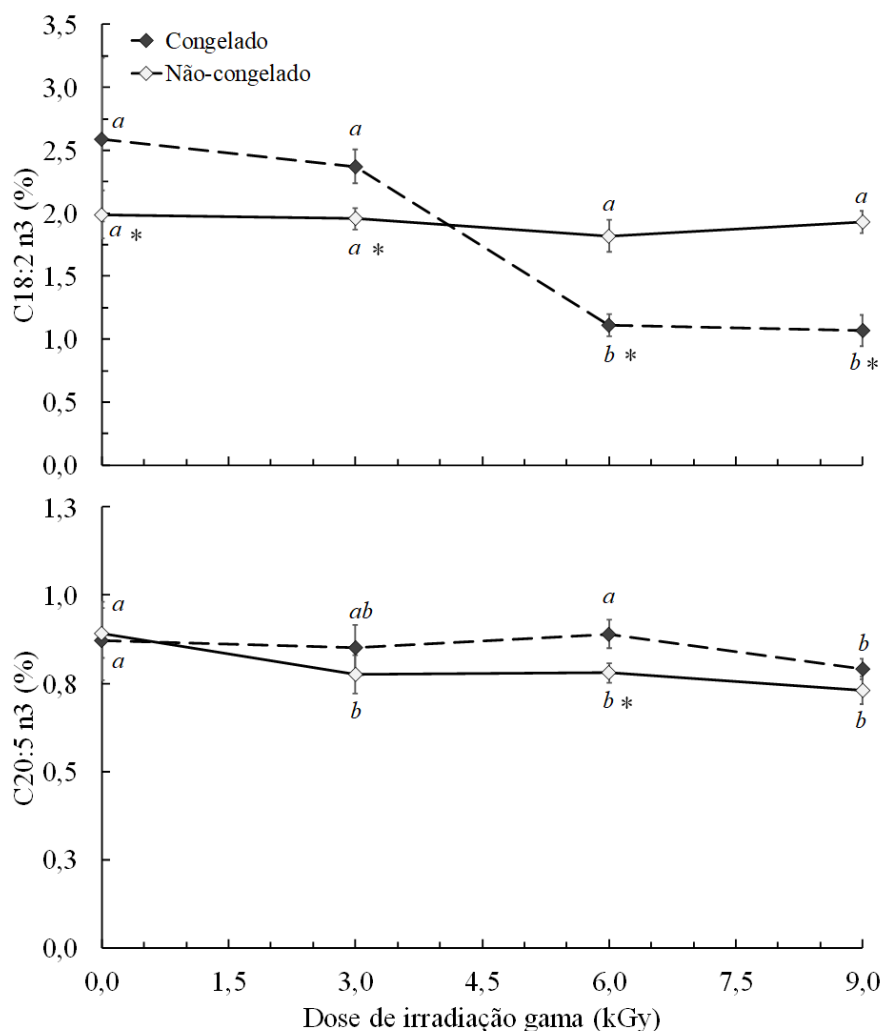


Figura 12. Efeito da radiação gama nos valores médios (\pm erro padrão da média) da proporção de ácido α -linolênico (C18:3 n3) e ácido eicosapentanoico (EPA; C20:5 n3) em contrafilés (*L. thoracis et lumborum*) bovinos em dois tratamentos: Congelado = amostras congeladas ($-18\text{ }^{\circ}\text{C}/24\text{ h}$), irradiadas e descongeladas ($4\text{ }^{\circ}\text{C}/24\text{ h}$); e Não-congelado = amostras refrigeradas e irradiadas. Letras iguais minúsculas (*ab*), para cada tratamento entre as doses de irradiação, não diferem ($P > 0,05$) entre si pelo teste de Tukey. *Médias dos tratamentos, em cada dose de irradiação, diferem ($P > 0,05$) pelo teste F.

Em ambos os casos, o que se observa é uma redução ($P < 0,05$) nestes ácidos graxos com a aplicação de maiores doses de radiação gama. Apesar desta redução, não foi verificada alteração nos somatórios de ácidos graxos n3, polinsaturados (PUFA) ou insaturados (UFA) ou, ainda, na relação n3/n6 (Tabela 7). Entretanto, maiores doses de irradiação também reduziram ($P < 0,05$) as proporções dos ácidos graxos palmitoléico (C16:1) e oleico (C18:1 c9), além do somatório de ácidos graxos monoinsaturados (MUFA) (Tabela 6).

É interessante observar que, a redução dos ácidos graxos insaturados C18:3 e EPA com a irradiação foi, no entanto, dependente do tratamento. Para o ácido α -linolênico, a redução foi observada a partir da aplicação de 6 kGy, seja na amostra congelada ou não. Já para o EPA, uma dose de 3 kGy foi suficiente para reduzir a proporção destes ácidos graxos nas amostras não-congeladas, enquanto que nas amostras congeladas esta redução ocorreu apenas naquelas irradiadas a 9 kGy. Isso se deve ao fato de que o congelamento minimiza os efeitos negativos da irradiação gama sobre a qualidade da carne, pois as moléculas de água ficariam indisponíveis para a reação de radiólise, diminuindo assim a formação de radicais livres, e consequentemente, os impactos sobre a oxidação lipídica seriam menores.

Esta redução nos ácidos graxos pode estar relacionada à formação de radicais livres pela radiólise da água com a irradiação, que aceleram a auto-oxidação de grupos acil dos graxos insaturados nos triacilgliceróis [53]. Isto é reforçado pelos maiores valores de TBARS com maiores doses de irradiação (Tabela 5). A taxa de oxidação lipídica depende do número e da posição das ligações duplas. Em geral, quanto maior o grau de insaturação, maior é a sensibilidade à oxidação e, consequentemente, ao tratamento com radiação [54]. Além de promover a auto-oxidação, o processo de radiação pode levar ao dano oxidativo das gorduras pelo efeito direto das altas dosagens sobre a molécula [53].

Stefanova et al [55] também observaram uma redução na proporção dos ácidos graxos monoinsaturados (C16:1 e C18:1) e polinsaturados (C18:1, C18:2 e C18:3) em carnes bovinas irradiadas com doses de 7,5 até 15 kGy. Brito et al [51] e Yılmaz and Geçgel [56] relataram que o aumento da dose de irradiação (até 8 kGy) aplicada em carne bovina moída, implica em reduções no conteúdo de ácido graxos insaturados (incluindo o C18:3) e concomitante aumento da formação de ácidos graxos *trans*. Segundo estes autores a radiação ionizante induz a uma mudança na estrutura molecular do ácido graxo, quebrando as ligações duplas, e formando novos radicais livres e ácidos graxos *trans*. O hidrogênio dos carbonos adjacentes às ligações duplas pode ser

substituídas por espécies radicais com maior reatividade ou através de ativação energética, como a radiação ionizante, que induz a produção de ácidos graxos *trans* [57].

Além da redução de ácidos graxos insaturados com a irradiação, Stefanova et al [55] também observaram um aumento na quantidade de ácidos graxos saturados, especialmente do mirístico (C14:0), o que condiz com o observado neste experimento (Tabela 6). Este aumento também está associado à oxidação dos ácidos graxos insaturados.

O C18:3 ω 3 é considerado precursor na síntese do CLA, juntamente com o ácido linoléico (C18:2 n-6). Sua importância se deve aos diversos efeitos relatados sobre a saúde humana, como: anticarcinogênico (incluindo a inibição do crescimento de tumores cancerígenos de mama e cólon), antiaterogênico, antidiabético (tipo II) e imunomodulador (aumentando a resposta imune) [58]. Estudos em humanos estão sendo desenvolvidos, Blankson et al [59] concluíram que o CLA pode reduzir a quantidade de gordura corporal de obesos, além de ter efeitos positivos sobre a massa corporal magra e o crescimento.

CONCLUSÃO

A irradiação gama associada ao congelamento alteraram a proporção de pigmentos heme nas carnes de animais Nelore, com uma maior deposição de mioglobina reduzida em detrimento da oximioglobina e maior proporção de metamioglobina, mas estes efeitos, no entanto, pouco alteraram a coloração das carnes. De forma geral, os consumidores avaliaram as carnes irradiadas a 9 kGy como sendo mais claras.

A estabilidade oxidativa dos contrafilés foi reduzida pela irradiação, principalmente quando aplicado doses maiores (9 kGy). Este processo de oxidação lipídica desencadeado pela irradiação implicou na redução da proporção de ácidos graxos insaturados, em especial os ácidos graxos da série ômega 3, cuja redução foi dose dependente.

REFERÊNCIAS

1. Miller MF, Carr MA, Ramsey CB, Crockett KL, Hoover LC. Consumer threshold for establishing the value of beef tenderness. J Food Sci 2001;79:3062-3068.

2. Troy DJ, Kerry JP. Consumer perception and the role of science in the meat industry. 2010;86:214-226. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.05.009>
3. Brewer MS. Irradiation effects on meat flavor: A review. 2009;81:1-14. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.07.011>
4. Brewer S. Irradiation effects on meat color - a review. 2004;68:1-17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.02.007>
5. Millar SJ, Moss BW, Stevenson MH. The effect of ionising radiation on the colour of beef, pork and lamb. 2000;55:349-360. [http://dx.doi.org/10.1016/S0309-1740\(99\)00164-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0309-1740(99)00164-3)
6. Leygonie C, Britz TJ, Hoffman LC. Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review. *Meat Sci* 2012;91:93-98. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.01.013>
7. Aroeira CN, Torres Filho RA, Fontes PR, et al. Effect of freezing prior to aging on myoglobin redox forms and CIE color of beef from Nellore and Aberdeen Angus cattle. 2017;125:16-21. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.11.010>
8. Rodrigues LM, Sales LA, Fontes PR, et al. Gamma irradiation and freezing process affect beef tenderness from Nellore cattle. *PLOS ONE* 2018;(submitted for publication).
9. Watts BM, Kendrick J, Zipser MW, Hutchins B, Saleh B. Enzymatic Reducing Pathways in Meat. 1966;31:855-862. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1966.tb03261.x>
10. Ramos EM, Gomide LAM. *Avaliação da Qualidade de Carnes: Fundamentos e Metodologias*. Viçosa: Editora UFV; 2017.
11. Krzywicki K. Assessment of relative content of myoglobin, oxymyoglobin and metmyoglobin at the surface of beef. *Meat Sci* 1979;3:1-10. [http://dx.doi.org/10.1016/0309-1740\(79\)90019-6](http://dx.doi.org/10.1016/0309-1740(79)90019-6)
12. Madhavi DL, Carpenter CE. Aging and Processing Affect Color, Metmyoglobin Reductase and Oxygen Consumption of Beef Muscles. 1993;58:939-942. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1993.tb06083.x>
13. Silva R, Minim V, Simiqueli A, Moraes L, Gomide A, Minim L. Optimized Descriptive Profile: A rapid methodology for sensory description. 2012;24:190-200. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodqual.2011.10.014>
14. Gay CA, Ebicki JM. Perchloric acid enhances sensitivity and reproducibility of the ferric–xylenol orange peroxide assay. 2002;304:42-46. <http://dx.doi.org/10.1006/abio.2001.5566>

15. Dutra MP, Cardoso GP, Fontes PR, et al. Combined effects of gamma radiation doses and sodium nitrite content on the lipid oxidation and color of mortadella. 2017;237:232-239. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.108>
16. Raharjo S, Sofos JN, Schmidt GR. Improved speed, specificity, and limit of determination of an aqueous acid extraction thiobarbituric acid-C18 method for measuring lipid peroxidation in beef. *J Agr Food Chem* 1992;40 2182-2185. <http://dx.doi.org/10.1021/jf00023a02>
17. Folch J, Lees M, Sloane Stanley GH. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J Biol Chem* 1957;226:497-509.
18. Hartman L, Lago RC. Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. *Lab Pract* 1973;22:475-476.
19. Ruiz de Huidobro F, Miguel E, Onega E, Blázquez B. Changes in meat quality characteristics of bovine meat during the first 6 days post mortem. 2003;65:1439-1446. [http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0309-1740\(03\)00068-8](http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0309-1740(03)00068-8)
20. Aroeira CN, Torres Filho RA, Fontes PR, et al. Freezing, thawing and aging effects on beef tenderness from *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle. *Meat Sci* 2016;116:118-125. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.02.006>
21. Kim YHB, Liesse C, Kemp R, Balan P. Evaluation of combined effects of ageing period and freezing rate on quality attributes of beef loins. 2015;110:40-45. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.06.015>
22. Carolino MI, Rodrigues MI, Bressan MC, Carolino N, Espadinha P, Telo da Gama L. pH e força de corte da carne de bovinos alentejanos e mertolengos. 2009;58.
23. de Paula ML, Efeito do congelamento prévio à maturação na qualidade da carne de bovinos Nelore e F1 (Nelore x Simental) terminados a pasto e confinado, Ed. Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, p 124p. (2013).
24. Arihara K, Cassens RG, Greaser ML, Luchansky JB, Mozdziak PE. Localization of metmyoglobin-reducing enzyme (NADH-cytochrome b5 reductase) system components in bovine skeletal muscle. 1995;39:205-213. [http://dx.doi.org/10.1016/0309-1740\(94\)P1821-C](http://dx.doi.org/10.1016/0309-1740(94)P1821-C)
25. Mancini RA, Hunt MC. Current research in meat color. *Meat Sci* 2005;71:100-121. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.03.003>
26. Bekhit AED, Faustman C. Metmyoglobin reducing activity. 2005;71:407-439. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.04.032>

27. Feldhusen F, Warnatz A, Erdmann R, Wenzel S. Influence of storage time on parameters of colour stability of beef. 1995;40:235-243. [http://dx.doi.org/10.1016/0309-1740\(94\)00048-C](http://dx.doi.org/10.1016/0309-1740(94)00048-C)
28. Bekhit AED, Geesink GH, Ilian MA, Morton JD, Bickerstaffe R. The effects of natural antioxidants on oxidative processes and metmyoglobin reducing activity in beef patties. 2003;81:175-187. [http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00410-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00410-7)
29. Seyfert M, Mancini RA, Hunt MC, Tang J, Faustman C, Garcia M. Color stability, reducing activity, and cytochrome c oxidase activity of five bovine muscles. *J Agric Food Chem* 2006;54:8919-8925. <http://dx.doi.org/10.1021/jf061657s>
30. Añón MC, Calvelo A. Freezing rate effects on the drip loss of frozen beef. 1980;4:1-14. [http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/0309-1740\(80\)90018-2](http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/0309-1740(80)90018-2)
31. Ramos EM, Gomide LAM, Ramos ALS, Peternelli LA. Effect of stunning methods on the differentiation of frozen-thawed bullfrog meat based on the assay of β -hydroxyacyl-CoA-dehydrogenase. 2004;87:607-611. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.01.013>
32. Wagner JR, Añón MC. Effect of freezing rate on the denaturation of myofibrillar proteins. 1985;20:735-744. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1985.tb01971.x>
33. Sammel LM, Hunt MC, Kropf DH, Hachmeister KA, Johnson DE. Comparison of Assays for Metmyoglobin Reducing Ability in Beef Inside and Outside Semimembranosus Muscle. 2002;67:978-984. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb09439.x>
34. McKenna DR, Mies PD, Baird BE, Pfeiffer KD, Ellebracht JW, Savell JW. Biochemical and physical factors affecting discoloration characteristics of 19 bovine muscles. *Meat Sci* 2005;70:665-682. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.02.016>
35. Echevarne C, Renerre M, Labas R. Metmyoglobin reductase activity in bovine muscles. 1990;27:161-172. [http://dx.doi.org/10.1016/0309-1740\(90\)90063-C](http://dx.doi.org/10.1016/0309-1740(90)90063-C)
36. Lanari MC, Cassens RG. Mitochondrial Activity and Beef Muscle Color Stability. *J Food Sci* 1991;56:1476-1479. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1991.tb08619.x>
37. Jeong J-Y, Kim G-D, Yang H-S, Joo S-T. Effect of freeze-thaw cycles on physicochemical properties and color stability of beef semimembranosus muscle. *Food Res Int* 2011;44:3222-3228. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2011.08.023>
38. Lefebvre N, Chantal Thibault, Charbonneau R, Piette J-PG. Improvement of Shelf-Life and Wholesomeness of Ground Beef by Irradiation 2. Chemical Analysis and Sensory Evaluation. *Meat Sci* 1994;36:371-380.

39. Coleby B. The effects of irradiation on the quality of meat and poultry. 1959;6:115-121. [http://dx.doi.org/10.1016/0020-708X\(59\)90103-6](http://dx.doi.org/10.1016/0020-708X(59)90103-6)
40. King DA, Shackelford SD, Rodriguez AB, Wheeler TL. Effect of time of measurement on the relationship between metmyoglobin reducing activity and oxygen consumption to instrumental measures of beef longissimus color stability. *Meat Sci* 2011;87:26–32. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.08.013>
41. King DA, Shackelford SD, Kuehn LA, et al. Contribution of genetic influences to animal-to-animal variation in myoglobin content and beef lean color stability. *J Anim Sci* 2010;88:1160-1167. <http://dx.doi.org/10.2527/jas.2009-2544>
42. Phung VT, Sælid E, Egelanddal B, Volden J, Slinde E. Oxygen Consumption Rate of Permeabilized Cells and Isolated Mitochondria from Pork M. Masseter and Liver Examined Fresh and after Freeze-Thawing at Different pH Values. *J Food Sci* 2011;76:C929-C936. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02275.x>
43. Montgomery JL, Parrish Jr. FC, Olson DG, Dickson JS, Niebuhr S. Storage and packaging effects on sensory and color characteristics of ground beef. *Meat Sci* 2003;64:357-363. [http://dx.doi.org/10.1016/s0309-1740\(02\)00171-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0309-1740(02)00171-7)
44. Chu YH, Huffman DL, Trout GR, Egbert WR. Color and Color Stability of Frozen Restructured Beef Steaks: Effect of Sodium Chloride, Tripolyphosphate, Nitrogen Atmosphere, and Processing Procedures. *J Food Sci* 1987;52:869-875. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1987.tb14230.x>
45. Hou X, Liang R, Mao Y, et al. Effect of suspension method and aging time on meat quality of Chinese fattened cattle M. Longissimus dorsi. *Meat science* 2014;96:640-645. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.08.026>
46. Vitale M, Pérez-Juan M, Lloret E, Arnau J, Realini CE. Effect of aging time in vacuum on tenderness, and color and lipid stability of beef from mature cows during display in high oxygen atmosphere package. *Meat Sci* 2014;96:270-277. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.07.027>
47. Lagerstedt Å, Lundström K, Lindahl G. Influence of vacuum or high-oxygen modified atmosphere packaging on quality of beef M. longissimus dorsi steaks after different ageing times. *Meat Sci* 2011;87:101-106. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.08.010>

48. Kim YH, Frandsen M, Rosenvold K. Effect of ageing prior to freezing on colour stability of ovine longissimus muscle. *Meat Sci* 2011;88:332-337. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.12.020>
49. Hughes JM, Oiseth SK, Purslow PP, Warner RD. A structural approach to understanding the interactions between colour, water-holding capacity and tenderness. *Meat Sci* 2014;98:520-532. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.05.022>
50. Farouk MM, Swan JE. Effect of Muscle Condition Before Freezing and Simulated Chemical Changes During Frozen Storage on the pH and Colour of Beef. 1998;50:245-256. [http://dx.doi.org/10.1016/S0309-1740\(98\)00036-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0309-1740(98)00036-9)
51. Brito MS, Villavicencio ALCH, Mancini-filho J. Effects of irradiation on trans fatty acids formation in ground beef. 2002;63:337-340. [http://dx.doi.org/10.1016/S0969-806X\(01\)00647-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0969-806X(01)00647-8)
52. Ahn DU, Nam KC. Effects of ascorbic acid and antioxidants on color, lipid oxidation and volatiles of irradiated ground beef. 2004;71:151-156. <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2004.04.012>
53. Nawar WW. Volatiles from food irradiation. 1986;2:45-78. <http://dx.doi.org/10.1080/87559128609540788>
54. Cosgrove JP, Church DF, Pryor WA. The kinetics of the autoxidation of polyunsaturated fatty acids. 1987;22:299-304. <http://dx.doi.org/10.1007/bf02533996>
55. Stefanova R, Toshkov S, Vasilev NV, Vassilev NG, Marekov IN. Effect of gamma-ray irradiation on the fatty acid profile of irradiated beef meat. 2011;127:461-466. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.155>
56. Yılmaz I, Geçgel U. Effects of gamma irradiation on trans fatty acid composition in ground beef. 2007;18:635-638. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2006.02.009>
57. Hampson JW, Fox JB, Lakritz L, Thayer DW. Effect of low dose gamma radiation on lipids in five different meats. 1996;42:271-276. [http://dx.doi.org/10.1016/0309-1740\(95\)00047-X](http://dx.doi.org/10.1016/0309-1740(95)00047-X)
58. Bauman DE, Baumgard LH, Corl BA, Griinari JM. Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants1. 2000;77:1-15. <http://dx.doi.org/10.2527/jas2000.77E-Suppl1f>
59. Blankson H, Stakkestad JA, Fagertun H, Thom E, Wadstein J, Gudmundsen O. Conjugated linoleic acid reduces body fat mass in overweight and obese humans. *J Nutr* 2000;130:2943-2948. <http://dx.doi.org/10.1093/jn/130.12.2943>