

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP CAMPUS DE
JABOTICABAL**

**QUALIDADE DA CARNE DE PEITO DE FRANGOS DE
CORTE IN NATURA E PROCESSADA ACOMETIDAS POR
PEITO DE MADEIRA**

**Msc. Rodrigo Fortunato de Oliveira
Médico Veterinário**

2019

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP CAMPUS DE
JABOTICABAL**

**QUALIDADE DA CARNE DE PEITO DE FRANGOS DE
CORTE IN NATURA E PROCESSADA ACOMETIDAS POR
PEITO DE MADEIRA**

Msc. Rodrigo Fortunato de Oliveira

Orientador: Profa. Dra. Hirasilva Borba

Coorientador: Prof. Dr. Pedro Alves de Souza

**Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de
Jaboticabal, como parte das exigências para
a obtenção do título de Doutor em Zootecnia.**

2019

O48q

Oliveira, Rodrigo Fortunato de
Qualidade da carne de peito de frangos de corte in natura e
processado acometidos por peito de madeira / Rodrigo Fortunato de
Oliveira. -- Jaboticabal, 2019
120 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientadora: Hirasilva Borba

Coorientadora: Pedro Alves de Souza

1. armazenamento. 2. doença muscular. 3. força de cisalhamento. 4.
maciez. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

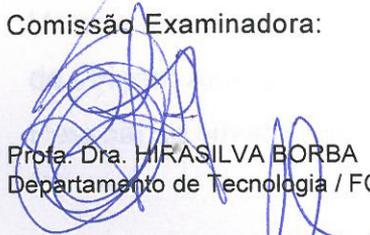
TÍTULO DA TESE: QUALIDADE DA CARNE DE PEITO DE FRANGOS DE CORTE IN NATURA E PROCESSADO ACOMETIDOS POR PEITO DE MADEIRA

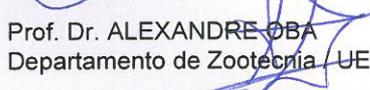
AUTOR: RODRIGO FORTUNATO DE OLIVEIRA

ORIENTADORA: HIRASILVA BORBA

COORIENTADOR: PEDRO ALVES DE SOUZA

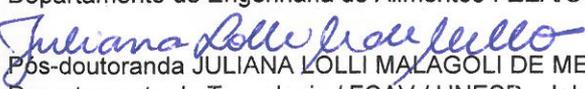
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em ZOOTECNIA, pela Comissão Examinadora:


Prof. Dra. HIRASILVA BORBA
Departamento de Tecnologia / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. ALEXANDRE OBA
Departamento de Zootecnia / UEL - Londrina/PR


Profa. Dra. LIZANDRA AMOROSO
Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Pós-Doutoranda ALINE GIAMPIETRO GANECO
Departamento de Engenharia de Alimentos-FZEA/USP / Pirassununga/SP


Pós-doutoranda JULIANA LOLLI MALAGOLI DE MELLO
Departamento de Tecnologia / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 12 de novembro de 2019

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

RODRIGO FORTUNATO DE OLIVEIRA – Nasceu no município do Rio de Janeiro, Estado do Rio de Janeiro, no dia 03 de março de 1988. Em agosto de 2008 iniciou o curso de Graduação em Medicina Veterinária pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, graduando-se em setembro de 2013. Em março de 2014 iniciou o curso de Pós-Graduação em Zootecnia (mestrado), com área de concentração em Produção Animal e ênfase em Produção e Nutrição de Não-Ruminantes pela Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras, Minas Gerais, durante o qual foi bolsista pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), submetendo-se à defesa da dissertação de mestrado em fevereiro de 2016. Em março de 2016 iniciou o curso de Doutorado em Zootecnia pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP- Jaboticabal, com ênfase em Tecnologia dos Produtos de Origem Animal, durante o qual foi bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota” (Theodore Roosevelt).

Luto por você, caio por você, sangro por você. Ergo-me por você, respiro e penso por você. Você está por traz de cada passo meu, me acompanhando na tristeza e na alegria, sofrendo e sangrando a cada derrota, mas sempre estendendo a mão para que eu não caia em definitivo. Você é o anjo que acompanha meus passos e sem você minha vida não faria sentido. Lutar sem objetivo deve ser desesperador, por isso me sinto abençoado por ter um bom motivo para lutar; lutar pela minha família e pelas pessoas que depositam confiança em mim. Isso me motiva e me aponta um norte, pois a cada queda eu me levanto, às vezes confuso, mas nunca me esqueço que meu maior motivo para ficar de pé é você. Amo a todos da minha família, e família eu digo não só a de sangue, mas a de coração também. Agradecerei a todos, se Deus quiser pessoalmente, e sei da dedicação que têm por mim, mas a minha pós-graduação, o meu doutorado queria dedicar a você, que sofreu tanto nesse tempo, mãe querida. Sei que a dívida que tenho por ti é grande. Também sei que jamais poderia pagá-la em uma só vida, portanto lhe ofereço uma eternidade de servidão pelo amor. Sempre vou te acompanhar em pensamento por mais que estejas longe. Você sempre estará em meu coração mantendo-o aquecido com o seu amor fora do comum, seu carinho e preocupação. Dedico esta tese à minha mãe, Ana Lúcia Pereira de Oliveira, cujo amor que sente por mim só pôde ser comparado com a imensa dedicação e força de vontade que ajudaram a me manter firme nos momentos difíceis. Amo-te demais, que eu possa te dar orgulho sempre. Fique com Deus, de seu filho que tanto te ama...

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, minha proteção através das orações.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP – Jaboticabal e ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Zootecnia, pela oportunidade de realização do curso.

À minha orientadora, Hirasilva Borba, por ter me guiado por todo o período de doutorado e pelos ensinamentos fornecidos.

Ao meu coorientador, Pedro Alves de Souza, pela dedicação, amizade, apoio e valiosa colaboração durante todas as etapas deste trabalho.

Aos membros da banca examinadora de qualificação, Professor Edney Pereira da Silva e Professora Lizandra Amoroso, pelas críticas e sugestões desta etapa.

Aos membros da banca examinadora de defesa da tese, pelas críticas e sugestões desta etapa.

Aos meus amigos Fábio Borba Ferrari e Juliana Lolli Malagoli de Mello, pelo apoio, conversas e colaboração nas diversas etapas de condução do experimento e bons momentos de convívio.

À minha família, principalmente meu irmão Harrison Fortunato de Oliveira, meu pai João Vilácio Fortunato de Oliveira e minha namorada Rayanne Prates de Andrade, que nunca deixaram de acreditar no meu potencial, ficando sempre ao meu lado na tristeza e na alegria. Amo muito vocês.

Aos meus “irmãos” Cícero Antonio Mariano dos Santos e Joacir do Nascimento, que sem a amizade deles jamais conseguiria.

Aos meus companheiros de trabalho que muito me ajudaram, Erika Nayara Freire Cavalcanti, Rodrigo Alves de Souza, Mateus Roberto Pereira, Aline Giampietro-Ganeco, Erick Alonso Villegas Cayllahua, Heloisa de Almeida Fidelis e Máisa Santos Fávero.

À todos os integrantes da república Xapô Kabô, em especial ao Girafalis, Pinguim, Tragédia, Taliba, Novelero, Pok-Telha, Xaulin, Meikilo, Projétil, Etanol, Obina e Zealdo, pela convivência, aprendizados, alegrias e tristezas durante todo o meu período de doutorado. Obrigado e que nossa amizade dure por muito mais tempo.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

À FAPESP pelo financiamento do projeto.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	IXI
ABSTRACT.....	XI
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
Introdução.....	1
Revisão da Literatura.....	2
Considerações finais.....	21
Referências Bibliográficas.....	21
CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO MÚSCULO <i>PECTORALIS MAJOR</i> DE FRANGO DE CORTE ACOMETIDOS PELA MIOPATIA PEITO DE MADEIRA.....	34
Resumo.....	36
Introdução.....	37
Material e Métodos.....	37
Resultados e Discussão.....	42
Conclusões.....	52
Referências.....	53
CAPÍTULO 3 – EFEITO DA MATURAÇÃO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DA CARNE DE PEITO DE FRANGOS DE CORTE ACOMETIDOS PELA MIOPATIA PEITO DE MADEIRA.....	56
Resumo.....	58
Introdução.....	59
Material e Métodos.....	60
Resultados e Discussão.....	63
Conclusões.....	77
Referências.....	78
CAPÍTULO 4 – AVALIAÇÃO DO ARMAZENAMENTO SOBRE AS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS, SENSORIAIS E MICROBIOLÓGICAS DE LINGUIÇAS TIPO FRESCAL FABRICADOS COM CARNE DE FRANGOS ACOMETIDOS PELA MIOPATIA PEITO DE MADEIRA.....	82
Resumo.....	83

Introdução.....	83
Material e Métodos.....	85
Resultados e Discussão.....	89
Conclusões.....	97
Referências.....	98
CAPÍTULO 5 – AVALIAÇÃO DO ARMAZENAMENTO SOBRE AS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS, SENSORIAIS E MICROBIOLÓGICAS DE HAMBÚRGUERES FABRICADOS COM CARNE DE FRANGOS ACOMETIDOS PELA MIOPATIA PEITO DE MADEIRA.....	100
Resumo.....	102
Introdução.....	102
Material e Métodos.....	104
Resultados e Discussão.....	107
Conclusões.....	117
Referências.....	118

QUALIDADE DA CARNE DE PEITO DE FRANGOS DE CORTE IN NATURA E PROCESSADO ACOMETIDOS POR PEITO DE MADEIRA

RESUMO – O objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade física, química da carne e a histomorfometria das fibras musculares de peito amadeirado (PM), e submeter estas ao processo de maturação e produção de hambúrgues e linguiça frescal, com o intuito de obter uma aplicação industrial desta carne. O capítulo 1 aborda considerações gerais e revisão de literatura sobre o tema proposto. No capítulo 2 foram avaliadas as características físicas, químicas e histológicas da carne de peito de frangos de corte acometidos pela miopatia PM. No capítulo 3 foram avaliados os possíveis efeitos da maturação por até sete dias sobre a qualidade da carne de peito de frangos de corte acometidos pelos diferentes graus de severidade da miopatia PM. No capítulo 4 foram avaliados a qualidade de linguiças tipo frescal fabricadas com carne de peito de frangos acometidos pelos diferentes graus de severidade da miopatia PM armazenadas por 28 dias. E no capítulo 5 foram avaliados a qualidade de hambúrgues de frangos acometidos pelos diferentes graus de severidade da miopatia PM armazenados por 120 dias. As amostras cruas de frangos acometidos pelo grau severo da miopatia PM possuem qualidade física inferior comparada com a carne de frango normal, o que pode ser prejudicial ao processamento da carne. As carnes de grau severo da miopatia PM possui níveis superiores de docosa-hexaenoico e ácido araquidônico, além de menor teor de gordura que peitos normais. As análises histomorfométricas mostram que a miodegeneração provocada pela miopatia PM apresenta hipertrofia da fibra muscular como mecanismo compensatório nos graus moderado e severo em frangos de corte. O processo de maturação pode favorecer na redução da perda de peso por cozimento e na perda de proteína na exsudação em peitos de frangos acometidos com miopatia PM. O período de maturação por 3 dias a 2°C em peitos com ou sem miopatia é suficiente para amaciar a carne, sem reduzir sua suculência, o que sugere que o processo de maturação pode ser de grande importância para indústrias avícolas, principalmente utilizados em peitos acometidos com a miopatia. O peito de frango amadeirado apresentou grande potencial para ser utilizado na elaboração de linguiça frescal, uma vez que parâmetros sensoriais do produto não foram influenciados pela adição da carne com PM. Os resultados das análises físico-químicas e sensoriais demonstram que a carne de frango acometido pela miopatia PM pode ser utilizada na indústria para a elaboração de linguiças frescal e diminuir as perdas econômicas causadas por essa miopatia. Hambúrgues elaborados com carne de frango acometido pela miopatia PM apresentaram mesma atividade de água que influencia na carga microbiana dos alimentos, e mesma concentração proteica que hambúrgues produzidos com carne de frango normal, mesmo apresentando qualidade física inferior. Apesar de hambúrgues produzidos com carne de frango acometido pela miopatia PM apresentarem maior estabilidade oxidativa, o armazenamento afetou os parâmetros de qualidade desses hambúrgues.

Palavras-chave: embutidos cárneos, hambúrguer, hipertrofia muscular, histomorfometria, linguiça frescal, maturação

QUALITY OF BREAST CHICKEN MEAT IN NATURA AND PROCESSED BY WOODEN BREAST

ABSTRACT - The objective of this study was to evaluate the physical, chemical and meat quality and histomorphometry of the woody breast muscle fibers, and to submit them to the process of maturing and production of hamburgers and fresh sausages, in order to obtain an industrial application of this meat. Chapter 1 discusses general considerations and literature review on the proposed theme. In chapter 2 the physical, chemical and histological characteristics of the breast meat of broilers affected by PM myopathy were evaluated. In Chapter 3, the possible effects of maturation for up to seven days on the quality of breast meat of broilers affected by the different degrees of severity of PM myopathy were evaluated. Chapter 4 evaluated the quality of fresh sausages made with chicken breast meat affected by the different degrees of severity of PM myopathy stored for 28 days. And in Chapter 5, the quality of chicken burgers affected by different degrees of severity of PM myopathy stored for 120 days was evaluated. Raw chicken samples affected by the severe degree of PM myopathy have lower physical quality compared to normal chicken meat, which can be detrimental to meat processing. The severe meats of PM myopathy have higher levels of docosahexaenoic and arachidonic acid, and lower fat content than normal breasts. The histomorphometric analyzes show that the myocardial disease caused by PM myopathy presents muscle fiber hypertrophy as compensatory mechanism in the moderate and severe degrees in broilers. The maturation process may favor the reduction of the weight loss by cooking and the loss of protein in the exudation in breasts of chicken with PM myopathy. The maturation period for 3 days at 2°C in breasts with or without myopathy is sufficient to soften the meat, without reducing its juiciness, suggesting that the maturation process may be of great importance for poultry industries, especially used in breasts affected with the myopathy. Woody chicken breast had great potential to be used in the preparation of fresh sausage, since sensory parameters of the product were not influenced by the addition of meat with PM. The results of the physicochemical and sensory analyzes show that chicken meat affected by PM myopathy can be used in industry to produce fresh sausages and reduce the economic losses caused by this myopathy. Hamburgers made with chicken meat affected by PM myopathy showed the same water activity that influences the microbial load of the food, and the same protein concentration as hamburgers produced with normal chicken meat, even though they presented inferior physical quality. Although hamburgers produced with chicken meat affected by PM myopathy have greater oxidative stability, storage affected the quality parameters of these hamburgers.

Keywords: sausages, hamburger, muscle hypertrophy, histomorphometry, fresh sausage, maturation

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

INTRODUÇÃO

A avicultura brasileira desde 2004 vem garantindo a liderança mundial nas exportações de carne de frango. Atualmente, o Brasil exporta para mais de 150 países, em todos os continentes.

Os avanços genéticos nas aves, tem proporcionado índices de crescimento e rendimento da carne muito elevados, porém tem sido observado o surgimento de algumas miopatias peitorais, como PSE (Pálida, flácida e exudativa), DFD (Escura, firme e seca), estrias brancas, peito amadeirado e espaguete. Isto ocorre, pois o peito das aves é um tecido nobre e com maior rendimento, sendo assim alvo dos programas de seleção genética.

A miopatia peito amadeirado macroscopicamente apresenta uma extensa área pálida, firme e com ondulações, e está associado à piora da qualidade da carne, que pode ser alterada em função do grau de miodegeneração das fibras musculares, alterando assim a composição química e o processamento da carne. A redução da qualidade da carne é principalmente devido a diminuição da capacidade de retenção de água, o que pode estar associado à dureza encontrada nos cortes com esta miopatia (Mazzoni et al., 2015).

A indústria brasileira e os serviços de inspeção ainda têm poucas informações e conhecimento sobre a miopatia peito amadeirado. São escassos os estudos encontrados na literatura que envolvam todas as questões abordadas nesta pesquisa, como o estudo da maciez e microscópico, alterações na qualidade da carne, bem como soluções tecnológicas da carne de peito acometidas por esta anomalia.

O peito de madeira não possui etiologia definida e a literatura não registra prejuízo à saúde pública, porém, o corte cárneo afetado com o grau severo desta miopatia é, geralmente, rejeitado pelo consumidor acarretando em perdas econômicas para o setor avícola. Desta forma, são necessários mais estudos para elucidar as alterações musculares decorrentes desta desordem muscular, e a sua interferência ou não na qualidade do produto, como procurar formas de atenuar o problema e aproveitamento dessa carne para diminuir o prejuízo causado na indústria.

Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade física, química da carne e a histomorfometria das fibras musculares de peito amadeirado, e submeter estas ao processo de maturação e produção de hambúrgues e linguiça frescal, com o intuito de obter uma aplicação industrial desta carne.

REVISÃO DA LITERATURA

Miopatia peito de madeira

A miopatia peito de madeira acomete aves a partir da terceira semana de idade, sendo mais comum o aparecimento em machos pesados. Caracteriza-se por expansivas áreas pálidas de substancial dureza com hemorragias acompanhadas de estriações brancas em todo o músculo *Pectoralis Major* de frangos de corte (Sihvo et al., 2014; Mutryn et al., 2015), principalmente no grau severo.

A incidência destas condições tem sido observada notoriamente em todo o mundo nos últimos anos. Kindlein (2015) estimou que a ocorrência de peito de madeira atinja cerca de 39% das aves com até 35 dias de vida e essa estimativa cresce para 89% das aves quando elas atingem 42 dias de vida. Owens (2014) identificou a miopatia peito de madeira como um dos problemas emergentes de qualidade da carne de peito de frangos de corte, apresentando um percentual de 50% de acometimento em frangos.

Ainda não são claras as causas da miopatia peito de madeira mas pode ser associada a vários fatores como o rápido crescimento e o aumento do peso corporal dos frangos de corte (Kuttapan et al., 2016). Trocino et al. (2015) concluíram que mudanças no genótipo, no gênero e no regime alimentar apresentam-se como os principais fatores que podem influenciar a incidência do peito de madeira dos frangos de corte.

Mazzoni et al. (2015) e Mutryn et al. (2015) relataram que a miopatia peito de madeira está associada à fragmentação das fibras musculares e à hipóxia muscular devido à inflamação dos músculos. Esses achados podem ser caracterizados quanto aos aspectos histopatológicos, e ainda à presença de linfócitos T que confirmam a ocorrência do processo inflamatório crônico não-infeccioso e que não causa riscos a

saúde, ocasionando na estrutura muscular diminuição da concentração de proteínas e elevação no conteúdo de água (Mazzoni et al. 2015).

Soglia et al. (2016) relataram que os peitos de frango amadeirados apresentaram maior umidade e maior teor de gordura e colágeno, e menores quantidades de proteína. Os efeitos dessa miopatia influenciaram negativamente a aceitação do consumidor através das características visuais (Mudalal et al., 2015), de modificações nas propriedades tecnológicas e nutritivas (Kuttappan et al., 2012; Mazzoni et al., 2015).

Sendo assim, em razão de pouco conhecimento a respeito do peito de madeira e por afetar o aspecto visual do corte de maior valor comercial da carne de frangos com a presença de petequias ou sufusões, torna-se de suma importância maior aprofundamento desta condição.

Segundo Sihvo et al. (2014), o grau de acometimento do peito de madeira é medido pela palpação na superfície do peito, e dessa forma é dividido em dois graus de severidade: moderado e severo. A miopatia peito de madeira foi classificada em diferentes graus de intensidade, sejam eles: Moderado (filés que apresentam áreas endurecidas e cor pálida sem focos de hemorragia) e Severo (filés que apresentam áreas endurecidas e cor pálida com focos de hemorragia).

Tijare et al. (2016) e Sihvo et al. (2017), propuseram um outro tipo de classificação da miopatia peito de madeira em três graus, grau 1: grau moderado (apresenta dureza na região cranial, com cor mais pálida); grau 2: grau severo (apresenta dureza em toda a extensão do peito, acompanhado, em alguns casos, de estrias brancas) e o grau 0: grupo controle (ausência de miopatia).

No caso severo, os músculos tendem a ser rígidos em toda sua extensão, desde a região cranial até a extremidade caudal. Essa miopatia é percebida no peito de frango devido à alteração macroscópica no músculo que apresenta rigidez muscular palpável. Pode ser observado sob a parte mais espessa do músculo um fluido translúcido, amarelo e viscoso de coloração pálida e, em alguns casos, vem acompanhado de estrias paralelas às fibras musculares (Sihvo et al., 2014). Em casos severos de peito de madeira, as características observadas na superfície incluem cor pálida, pontos de hemorragias e exsudato viscoso (Bailey et al., 2015).

Estudos relataram que casos graves da doença de peito amadeirado podem provavelmente afetar cerca de 10% de um lote. Além disso, o grau moderado e severo da doença de peito amadeirado afetaram até 50% de um lote (Nascimento et al., 2012)

Qualidade da carne

A qualidade da carne é um conjunto de características desejáveis pelo consumidor, principalmente no que se refere aos aspectos sensoriais e tecnológicos (Warris e Brown, 2000).

A qualidade da carne dentro de um contexto amplo e complexo é descrita por características nutricionais, higiênicas, físicas, sensoriais (suculência, aparência e resistência a mastigação) e pela forma de apresentação do produto. As principais exigências para obtenção de um produto de qualidade são os quesitos: aparência, sabor, cor, suculência, textura, estabilidade oxidativa e a uniformidade. As características físicas podem ser avaliadas através da mensuração do pH, das perdas por exsudação e cocção assim como a mensuração da capacidade de retenção de água (Nanni et al., 2002; Rosenvold e Andersen, 2003).

A qualidade da carne destinada ao consumo é motivo de constante preocupação em todo o mundo (porque a carne e seus derivados são os alimentos mais associados a doenças) (Tavares et al., 2006). Esses alimentos apresentam composição química que os torna excelentes meios de cultura, pois apresentam alta atividade de água e são ricos em substâncias nitrogenadas e minerais (Franco et al. 2008). Além disso, o pH próximo da neutralidade é favorável à sobrevivência e multiplicação de inúmeros microorganismos deterioradores e patogênicos, principalmente bactérias (Germano e Germano, 2011).

Os fatores que influenciam a qualidade da carne podem ser controlados nas diversas etapas de criação, abate e processamento. A composição e a qualidade da carne também são influenciados pela idade de abate, sexo, taxa de lotação, tempo de jejum, transporte, temperatura ambiente, pendura, atordoamento, escalda e resfriamento (Mendes e Komiyama, 2011). Sabe-se que a carne, mesmo que obtida de animais sadios, contamina-se por micro-organismos a partir da sangria, e a contaminação continua por todas as etapas requeridas na tecnologia de abate, bem

como nos açougues, feiras e supermercados (Feitosa, 1999; Oliveira et al., 2002; Silva et al., 2004).

Estudos recentes indicaram que a miopatia peito de madeira afeta a qualidade e as propriedades funcionais da carne, quando comparados a peitos de frango normal. As propriedades funcionais da carne, como textura, capacidade de retenção de água e cor em geral são prejudicadas em peitos de frangos com a miopatia peito de madeira (Soglia et al., 2016).

- **Cor**

A cor é uma das características qualitativas mais importantes para o consumidor no momento da compra, constituindo o principal critério de seleção (White et al., 2006; Muchenje et al., 2009). Segundo Ramos e Gomide (2017), a cor desperta no consumidor o desejo de consumir ou de rejeitar o produto, além de fornecer uma indicação, embora nem sempre correta, sobre o grau de conservação do alimento.

É influenciada principalmente pela natureza e conteúdo do pigmento mioglobina (Mb). A variação na cor da mioglobina é intrínseca ao músculo e depende de vários fatores como, por exemplo, espécie, idade do animal, localização anatômica do músculo e sistemas de alimentação. Outras variáveis como condições pré-abate e estado de oxigenação e oxidação do músculo também interferem na coloração final da carne (Abril et al., 2001).

O estado de oxidação da mioglobina é determinado pela pressão de oxigênio presente no meio e, minoritariamente, por entidades oxidantes como radicais livres. Os radicais livres são produzidos pela oxidação dos lipídeos presentes na carne. Assim, estratégias que minimizem a formação de radicais livres podem ter efeito na coloração da carne (Faustman et al., 1998). O pH final do músculo interage com o ponto isoelétrico das proteínas miofibrilares influenciando seu estado físico e a reflexão da luz da superfície muscular, ou seja, na cor da carne (Abril et al., 2001).

A miopatia peito de madeira afeta diretamente a coloração dos peitos de frango, com presença de regiões com coloração pálida nos peitos de frango amadeirado quando comparados com peitos de frango normal (Sihvo et al., 2014).

As medidas de cor no estudo realizado por Sanchez-Brambila et al. (2017) não apresentaram diferença entre o peito de frango amadeirado e o normal independente

do parâmetro de cor analisado (L^* , a^* ou b^*). Dados reportados na literatura, referentes aos parâmetros de cor CIELAB não apresentam relações consistentes entre a condição de peito amadeirado e os valores reproduzidos.

Trocino et al. (2015) concluíram que não houve diferença significativa para os parâmetros CIELAB entre peitos de frango amadeirados e peitos normal. No entanto, Dalle Zotte et al. (2014) mostraram que medidas de cor L^* , a^* e b^* em peitos amadeirados foram significativamente maiores que os de peitos normal. Chatterjee et al. (2016) relataram diferença significativa apenas para o valor de intensidade de vermelho (a^*) quando compararam peitos de frango amadeirado e normal. Enquanto Mudalal et al. (2015) observaram diferenças apenas para a intensidade de amarelo (b^*).

Wold et al. (2017) alegaram que a cor pálida característica do peito amadeirado, a qual resulta dos processos degenerativos ocasionados por esta miopatia, não é um marcador único para o peito amadeirado, uma vez que peitos normais também podem apresentar uma cor pálida semelhante.

- **Potencial hidrogeniônico (pH)**

Com a morte do animal, ocorre parada de circulação sanguínea, cessam os estímulos nervosos para os músculos e o aporte de oxigênio para os tecidos em geral. O processo de contração ainda é possível, porém, dada a condição anaeróbica, torna-se impossível a utilização do ácido pirúvico (piruvato) como fonte de energia. Ocorre, então, a conversão do mesmo ácido e, conseqüentemente, a redução do pH no músculo (Godt, 1996; Savell et al., 2005), por meio da produção de ácido láctico pelo metabolismo anaeróbico do glicogênio armazenado (Chiquitelli Neto, 2004).

A rigidez cadavérica está diretamente relacionada com a acidez muscular. Imediatamente após o abate, o pH da carne é neutro ou quase alcalino e sofre, em seguida, processo gradual de acidificação, estabilizando-se entre 5,6 a 5,8. Posteriormente, se eleva aos poucos em virtude da formação de substâncias alcalinas relacionadas com a degradação protéica (Seabra et al., 2001). A ocorrência de *rigor mortis* adequado e queda significativa do pH da carne constituem características desejáveis, uma vez que o pH baixo inibe o crescimento bacteriano e o ácido láctico

presente promove a maciez, em virtude da conversão do colágeno em gelatina (Purchas et al., 2001).

Estudos relatam que os valores de pH do peito amadeirado foram maiores quando comparado com os do peito de frango normal (Dalle Zotte et al., 2014; Mudalal et al., 2015; Chatterjee et al., 2016; Sanchez Brambila et al., 2017). Os mecanismos que levam ao aumento do pH em peitos com a miopatia peito de madeira ainda não são bem esclarecidos (Mudalal et al., 2015).

- **Capacidade de Retenção de Água (CRA)**

É definida como a capacidade da carne reter sua umidade durante a aplicação de forças externas (Fernandes de Sá, 2004). A necessidade de avaliação da retenção de água está diretamente associada com o aspecto geral do produto na hora da compra ou quando processado. Segundo Zeola et al. (2007), a menor capacidade de retenção de água da carne implica em perdas do valor nutritivo pelo exudato liberado, resultando em carne mais seca e com menor maciez. A capacidade de retenção de água é uma propriedade de importância fundamental em termos de qualidade, tanto na carne destinada ao consumo direto, como para a carne destinada à industrialização (Roça, 2010).

Características de maciez como firmeza e sensações tácteis na boca estão intimamente relacionadas com a capacidade de retenção de água, pH, grau de gordura de cobertura e características do tecido conjuntivo e da fibra muscular (Pardi et al., 2001). A maior parte da água no músculo está presente nas miofibrilas, nos espaços entre os filamentos grossos de miosina e os filamentos finos de actina/tropomiosina (Lawrie, 2005). Segundo Zeola et al. (2007) se a capacidade de retenção de água do tecido muscular for baixa ocorrerá perda de peso durante o resfriamento e estocagem o que, conseqüentemente, resultará em perdas no valor nutritivo através do exsudato liberado, resultando em uma carne mais seca e menos macia.

Os fundamentos químicos da capacidade de retenção de água admitem que a mesma se apresenta sob a forma de água ligada (5%), imobilizada (10%) e livre (85%), sendo que a concentração total de água da carne é importante durante os processamentos como resfriamento, congelamento, salga, cura, enlatamento, etc.

Segundo Zeola et al. (2007), quanto maior a concentração de água ligada maior a capacidade de retenção de água do tecido muscular.

É importante ressaltar que todos os fatores que influenciam a capacidade de retenção de água da carne *in natura* afetam também a capacidade de retenção de água da carne congelada e descongelada.

Os peitos amadeirados apresentam menor capacidade de retenção de água, composição química diferenciada, além de comprometimento na funcionalidade das proteínas (Soglia et al., 2016). A menor porcentagem do teor de proteína seria um indicativo de desnaturação de proteínas, o qual resulta em uma maior perda de cozimento e menor capacidade das proteínas em reter água em produtos cárneos (Soglia et al., 2016).

- **Maciez**

A maciez é considerada pelos consumidores a característica sensorial de maior influência na aceitação da carne (Alves et al., 2005). Pode ser atribuída à percepção sensorial (paladar) do consumidor como: resistência à língua, à pressão do dente, aderência e resíduo pós mastigatório, ou seja, uma quantidade de fatores subjetivos (Belcher et al., 2007; Muchenje et al., 2009).

A maciez é um dos atributos mais importantes na aceitação e satisfação do consumidor de carnes, além de ser um fator decisivo para a aquisição desses alimentos, o consumidor consegue discernir entre diferentes categorias de maciez e inclusive está disposto a pagar mais pela aquisição de carnes macias (Boleman et al., 1997).

Ramos e Gomide (2017) ressaltaram que devido à complexidade dos músculos e tecidos associados, a maciez é caracterizada por vários fatores, sendo função do tamanho do feixe de fibras musculares e do tecido conjuntivo (perimísio) que o envolve. O tamanho dos feixes musculares não é apenas determinado pelo número de fibras mas também pelo diâmetro dessas. Assim, duas estruturas na carne são diretamente responsáveis pelo seu grau de maciez: o tecido conjuntivo e as fibras musculares.

Conforme Sarcinelle et al. (2007), a qualidade da carne está intimamente relacionada com a maciez que, por sua vez, está associada com o tipo racial, idade,

fatores genéticos, tipo de manejo, estado de nutrição e tipo de corte do animal, além de estar relacionada aos processos enzimáticos que ocorrem no músculo depois do abate.

Contudo é importante frisar que a maciez da carne está diretamente ligada ao conteúdo de colágeno e à idade do animal, uma vez que animais mais velhos apresentam maior número de ligações cruzadas termoestáveis do colágeno, fazendo assim com que a sua carne se torne menos macia e solúvel à cocção, aumentando então a força de cisalhamento.

Dalle Zotte et al. (2017) descreveram macroscopicamente o peito amadeirado como um músculo duro, pálido, às vezes, coberto superficialmente com pequenos pontos de hemorragias, exsudatos e ocasionalmente com estrias brancas. Tasionero et al. (2017) relatam que a fibrose é considerada a principal razão para a textura dura dos peitos de frango afetados com a miopatia peito de madeira.

A textura dura do peito amadeirado é notavelmente diferente da textura apresentada pelo peito normal, sendo um marcador decisivo e utilizado na indústria avícola, através da apalpação manual, para a detecção da miopatia peito de madeira (Wold et al., 2017). Valores superiores de compressão e força de cisalhamento foram encontrados em frangos de corte com severidade crescente de peito amadeirado quando comparado ao peito normal (Sanchez Brambila et al., 2017; Trocino et al., 2015).

- **Oxidação lipídica**

O grau de oxidação dos lipídios da carne depende da composição de fosfolipídios, quantidade de ácidos graxos poliinsaturados, concentração de íons metálicos, oxigênio, sal e outros oxidantes. A oxidação forma produtos como aldeídos, lactonas, hidrocarbonetos, furanos e cetonas, que causam off-flavours indesejáveis, rancificados devido à oxidação dos lipídios da carne (Souza et al., 2009).

Alimentos com elevado teor de lipídios são altamente perecíveis devido, principalmente, à ocorrência de processos oxidativos aos quais os óleos estão expostos (Silva et al., 2010).

Os fenômenos de oxidação dos lipídeos dependem de diversos mecanismos complexos, os quais estão relacionados com o tipo de estrutura lipídica e o meio onde

se encontra. Além disso, o número e natureza das insaturações presentes, a exposição à luz e ao calor, a presença de pró-oxidantes metálicos ou de fatores antioxidantes, são determinantes para estabilidade oxidativa dos lipídeos (Wheatley, 2000).

Os lipídeos presentes nos sistemas biológicos são oxidáveis em diferentes graus e constituem-se de uma mistura de (mono-, di- e tri-) glicerídeos, fosfolipídios, ácidos graxos livres, esteróis, etc. Os triglicerídeos resultam da esterificação de uma molécula de glicerol com três ácidos graxos, sendo considerados os principais responsáveis pelo desenvolvimento do ranço (Nelson e Cox, 2006).

Os mecanismos de oxidação podem ocorrer por várias vias em função do meio e dos agentes catalizadores. Nos sistemas biológicos, os lipídeos sofrem oxidação por três principais meios: fotoxidação, autooxidação e oxidação enzimática (Larguerre et al., 2007; Wójciak e Dolatowski, 2012). A rancidez hidrolítica e a rancidez oxidativa (autooxidação) representam grandes problemas técnicos para a indústria de alimentos (Osawa et al., 2006).

Em todos os mecanismos de oxidação lipídica é regra a presença de um radical livre que reage com a cadeia hidrocarbonada do ácido graxo formando um peróxido. Este peróxido reagirá sobre outra cadeia hidrocarbonada extraindo hidrogênios e originando um hidroperóxido. A cadeia carbonada da qual os hidrogênios foram extraídos agirá como novo peróxido, perpetuando o ciclo (Wheatley, 2000).

Os principais problemas decorrentes da oxidação lipídica são as alterações sensoriais, envolvendo o desenvolvimento de aromas desagradáveis (Degáspari e Waszynskyj, 2004), o que tornará o alimento impróprio para consumo. A rancidez oxidativa ocorre em lipídios contendo ácidos graxos insaturados, que podem sofrer oxidação formando aldeídos, cetonas, ácidos, álcoois e hidrocarbonetos que representa importante causa de rejeição de produtos pelo consumidor, podendo provocar alterações na sua qualidade nutricional, devido à degradação de vitaminas lipossolúveis e de ácidos graxos essenciais (Ramalho e Jorge, 2006), principalmente do ácido linoleico (rapidamente perdido).

A magnitude de processos oxidativos depende de fatores do próprio alimento (concentração de água e presença de substância pró-oxidantes) e das condições de processamento e armazenamento, como sua exposição a atmosferas gasosas e à luz

(Tabee et al., 2008). Segundo Waraho et al. (2011), alguns componentes presentes no alimento, como ácidos graxos livres e fosfolipídios podem aumentar potencialmente as taxas de oxidação lipídica. Por outro lado, as proteínas são capazes de inibir a oxidação lipídica.

Segundo Degáspari e Waszczyński (2004), os processos oxidativos ocorrem principalmente quando o alimento apresenta valores de atividade de água inferiores a 0,3, pois nessa faixa atinge-se a zona de adsorção que propicia a ação catalítica dos metais e que irá favorecer o desenvolvimento das reações de oxidação de lipídios.

- **Colágeno**

Sabe-se que a maciez da carne pode ser influenciada pela quantidade de tecido conjuntivo. O colágeno como principal proteína constituinte desse tecido pode ser quantificado através da determinação da hidroxiprolina, considerando que o colágeno possui 12,5% desse aminoácido e ainda que a hidroxiprolina é exclusiva do colágeno, além de ser de fácil determinação.

Em sua estrutura morfológica, o colágeno é composto por monômeros de tropocolágeno agregados para formar fibras estendidas no epimísio e perimísio ou, principalmente, uma matriz estrutural no endomísio (Tornberg, 2005). Hadlich et al. (2008) mencionaram que quando se estuda a influência do colágeno na maciez de carnes, as características que mais importam são a idade de abate do animal, pois animais mais velhos apresentam menor solubilidade do colágeno devido à estabilidade de suas ligações cruzadas, e a localização do músculo estudado, visto que músculos de locomoção apresentam maior quantidade de colágeno do que músculos de suporte.

A maciez é dependente da estrutura do tecido conjuntivo e das fibras musculares e da interação destes. A influência do colágeno na textura da carne se dá pelo estado de suas ligações cruzadas, que com o avanço da idade do animal se estabilizam tornando a molécula de colágeno menos solúvel, comprometendo a maciez da carne. Assim, constitui-se um importante fator na verificação de diferenças de maciez entre músculos de um mesmo animal (Ramos e Gomide, 2017). Segundo Powell et al. (2000) a quantificação do colágeno total e solúvel no músculo é de grande importância para estudar a qualidade da carne, representando somente 2-10% do

peso seco do total de proteínas do músculo. Este é responsável pelas principais mudanças que ocorrem na textura da carne durante o cozimento. Essas mudanças dependem da maturidade do colágeno, bem como de fatores externos como a taxa de aquecimento, a umidade e o procedimento durante o preparo da carne.

A mudança da maturidade do colágeno está relacionada com a idade do animal, devido à quantidade de ligações cruzadas entre as moléculas de colágeno, bem como o diâmetro das fibras (Bailey, 1985). Essas ligações ocorrem em uma primeira etapa enzimática, sendo catalisadas pela atividade da enzima extracelular lisil-oxidase e, posteriormente, por um processo de glicosilação de resíduos por meio de um processo oxidativo (Bailey, 2001). Isto explica o fato de os animais com idade elevada apresentarem carne mais dura, em comparação a animais jovens, em que existe uma alta correlação positiva entre a idade de abate e o número de ligações cruzadas termoestáveis do colágeno do músculo (Voet et al., 2008). A resistência que a força de cisalhamento de um músculo representa é proporcional ao seu conteúdo de colágeno intramuscular. Quando este colágeno é aquecido, ocorre a quebra das ligações de hidrogênio, induzindo o encolhimento das fibra de colágeno que é seguido por solubilização e gelatinização (Aktas, 2003).

Sihvo et al. (2014) relataram que peitos amadeirados demonstram graus variáveis de necrose de fibras ou fibrose, pequenas fibras regeneradoras, infiltração de células imunes e deposição extensiva de colágeno fibrilar. Os peitos de frango amadeirado apresentam maior teor de colágeno (Soglia et al., 2016) sendo este outro fator determinante para a maior dureza do peito amadeirado.

- **Ácidos graxos**

Certos compostos presentes em pequenas quantidades, podem ter influência marcante, como por exemplo: a mioglobina para a cor, o colágeno para a maciez e substâncias voláteis, como alguns ácidos graxos, para o sabor e aroma das carnes.

A gordura é um dos componentes essenciais da dieta humana, pois, além de fornecer maior quantidade de energia se comparada aos carboidratos e à proteína, contém ácidos graxos não sintetizados pelo organismo, que devem estar presentes na dieta, denominados essenciais, que são da família ômega 3 e ômega 6. Além de

conferir sabor aos alimentos, auxiliam no transporte e na absorção das vitaminas lipossolúveis A, D, E e K pelo intestino (Madruga et al., 2005).

Os lipídeos na carne se apresentam como triglicerídeos (90%), uma composição de glicerol e três ácidos graxos. Os ácidos graxos formam uma família de compostos que estão definidos pela quantidade de átomos de carbono que formam uma cadeia, assim como a presença de duplas ligações nesta cadeia. Quanto aos tipos de ácidos graxos, estes podem ser classificados em: saturados (ácido graxo sem dupla ligação em sua cadeia), sendo estes divididos em: monoinsaturados (com uma insaturação ou dupla ligação) e, diinsaturados e poliinsaturados (com duas ou mais insaturações, respectivamente). Os ácidos graxos com mais de uma ligação se subdividem em ômega-6 (n-6) e ômega 3 (n-3), e são considerados essenciais devido a incapacidade do organismo de sintetizá-los, motivo pelo qual devem ser incorporados na dieta.

Os ácidos graxos estão envolvidos em vários aspectos tecnológicos da qualidade da carne. A variação na composição de ácidos graxos tem efeitos importante na firmeza ou suavidade da gordura das carnes, na vida de prateleira e especialmente no tecido adiposo intramuscular (marmoreio) (Wood et al., 2003; Brunsø et al., 2005).

Os ácidos graxos poliinsaturados são depositados preferencialmente nos fosfolipídios, os quais apresentam características que influenciam no desenvolvimento do sabor da carne, através da oxidação durante o processamento e cozimento, atribuindo sabores desejáveis quando em quantidades adequadas, e indesejáveis se presentes em grandes concentrações, resultando no off-flavour (Monte et al., 2007).

A importância da oxidação dos ácidos graxos insaturados em relação aos sabores desejáveis e indesejáveis na carne foi descrita por Campo et al. (2006), ao afirmarem que os ácidos graxos insaturados quando em quantidades elevadas na carne podem afetar o tempo de vida de prateleira, por acelerar o processo de oxidação dos lipídios e da cor.

A afirmativa que gorduras ricas em ácidos graxos insaturados são mais benéficas que aquelas ricas em ácidos graxos saturados e colesterol, estimularam o desenvolvimento de pesquisas objetivando modificar o perfil lipídico das carnes e minimizar os possíveis riscos à saúde, como obesidade, câncer e doenças

cardiovasculares, causados por esses compostos (Zapata et al., 2001). Nem todos os ácidos graxos saturados são considerados hipercolesterolêmicos (que aumentam os níveis do colesterol ruim – LDL). French et al. (2003) relataram que o ácido graxo mais indesejável seria o ácido mirístico (C14:0) porque está relacionado ao efeito sobre a concentração plasmática das lipoproteínas de baixa densidade (LDL), o qual no estudo de Freitas et al. (2007) representou apenas 3% do total dos ácidos graxos na carne. O ácido Palmítico (C16:0) foi citado como o de menor efeito hipercolesterolêmico e o ácido esteárico (C18:0), com 43% do total dos ácidos graxos saturados na carne (Freitas et al., 2007), teria efeito nulo, pois se transforma em ácido oléico (C18:1) no organismo (Sinclair, 1993), não influenciando os níveis sanguíneos de colesterol.

Willians (2000) comentou que mesmo sendo a composição da carne mais insaturada do que saturada e que uma parte considerável desta não seja hipercolesterolêmica, seria interessante aumentar a proporção de ácidos graxos insaturados, em especial dos polinsaturados, pois vários destes estariam relacionados a efeitos positivos à saúde humana. Em contrapartida, o aumento de ácidos graxos insaturados na carne proporciona uma rápida e elevada oxidação, reduzindo o tempo de vida útil, além de favorecer o aparecimento de compostos de sabores desagradáveis pela presença da gordura (Monte et al., 2007). Quanto à relação polinsaturados:saturados, o Department of Health (1994) cita que a razão inferior a 0,4 constitui um dieta pouco saudável, estando relacionada com doenças cardiovasculares.

Os produtos da decomposição térmica dos fosfolipídios, mediante aquecimento participam da reação de Maillard juntamente com compostos intermediários, sendo estes, responsáveis por mudanças evidentes na qualidade da carne. Contudo, durante o cozimento, uma complexa série de reações induzidas termicamente ocorre entre os componentes não voláteis do tecido magro e gorduroso, dando origem aos que contribuem para a sensação do aroma percebido (Madrugá et al., 2005).

Composição do músculo e das fibras musculares

O músculo é formado por um agrupamento de feixes que são compostos por um conjunto de fibras. A fibra muscular é a unidade estrutural do músculo, sendo

constituída por miofibrilas, apresentando o sarcômero como a menor estrutura contrátil que exerce papel fundamental na contração e no relaxamento muscular. Tanto as fibras musculares individuais, quanto os feixes e o músculo como um todo, são envoltos por tecido conjuntivo, que recebe diferentes nomes de acordo com sua localização, podendo ser chamados de epimísio, perimísio ou endomísio (Lieber, 1999).

Este sistema miofibrilar é composto por várias proteínas onde se observaram as alterações que conduzem ao amaciamento pós abate. O sarcômero possui filamentos grossos compostos principalmente pela proteína miosina, e filamentos finos representados principalmente pela actina, além da tropomiosina, troponina e β -actinina. Assim, o mesmo tem sido visualizado e demonstrado como sendo a distância entre duas linhas transversais e escuras, denominadas linhas Z.

- **Índice de Fragmentação Miofibrilar (IFM)**

O índice de fragmentação miofibrilar é uma medida do comprimento médio das miofibrilas e é significativamente relacionado com a maciez, onde maior índice de fragmentação miofibrilar resulta em maior maciez do músculo. O fenômeno da quebra das miofibrilas em segmentos menores na linha Z ou próximos a ela durante o *post mortem* é determinado como fragmentação miofibrilar (Olson et al., 1976).

De acordo com Calkins e Seideman (1988), a maciez *post mortem* é definida pela quantidade e atividade do complexo calpaína dentro do músculo vivo, podendo ser controlada através da manipulação do crescimento dos animais. Segundo estes autores, é bem conhecido que o aumento da taxa de crescimento reflete aumentos na taxa de proteína. Este aumento ocorre pela elevação da taxa de síntese de proteínas e uma concomitante, mas menor, elevação da degradação da proteína. Sendo assim, o aporte enzimático responsável pela fragmentação miofibrilar, é responsável pela maciez do músculo, mesmo antes do abate do animal. A determinação de IFM reflete a intensidade de proteólise das miofibrilas. Evidentemente, as miofibrilas submetidas ao processo de maturação tem maior degradação que aquelas de músculos intactos devida sobretudo à atividade enzimática (Koochmaraie, 1990). Sendo assim, carnes que sofreram maior proteólise são mais macias e possuem miofibrilas mais frágeis porque grande parte do aumento da maciez, senão todo, é oriunda da degradação de

determinadas proteínas miofibrilares por proteases endógenas do músculo. O IFM, que se baseia no conceito da degradação das proteínas musculares, é utilizado como um método para estimar a maciez da carne (Koochmaraie e Geesink, 2006) e também pode ser utilizado como indicador da fragilidade das proteínas do citoesqueleto, como a titina (Taylor et al., 1995).

Taylor et al. (1995) revisou que as calpaínas são responsáveis por 90% ou mais do amaciamento que ocorre durante o armazenamento *post mortem*. Além disso, reportam que este amaciamento é o resultado direto da capacidade da calpaína para degradar a linha Z no músculo esquelético. Segundo estes autores, o tempo durante o qual o maior amaciamento *post mortem* ocorre, não coincide com o tempo que as mudanças nas estruturas são observadas e o maior amaciamento *post mortem* ocorre durante os primeiros 3 ou 4 dias. Estes autores reportam que apenas algumas linhas Z, possivelmente menos de 5% do total, teriam de ser degradadas ou parcialmente degradadas para ter um grande efeito sobre a maciez. Relatam ainda, que o índice de fragmentação miofibrilar foi amplamente adotado como um método de estimar a degradação da linha Z no músculo *post mortem*.

No entanto, Ramos e Gomide (2017) afirmaram que quando amostras de carne atingem valores altos de IFM (próximos de 100) indicam músculos macios, tendo em vista a grande ruptura da estrutura miofibrilar. Da mesma forma, quando tais valores são baixos (próximos a 30), indicam músculos duros ou menos macios.

O efeito sobre a taxa de glicólise e, conseqüentemente, sobre o pH final, é também fator de variação sobre a fragmentação miofibrilar no músculo, já que a atividade das enzimas proteolíticas são proporcionais aos valores de pH muscular. Assim, obtém-se maior atividade quanto maior o valor do pH, dentro dos limites normais da carne (Calkins e Seideman, 1988).

- **Comprimento de sarcômero**

Quando se estudou a relação entre o encolhimento pelo frio e a dureza da carne, descobriu-se que o comprimento do sarcômero pode ser relacionado com a maciez final, uma vez que está diretamente relacionado à contração muscular. Estudos nesse sentido não são recentes, tendo já sido estudados desde a década de

70 (Parrish et al., 1973; Culler et al., 1978; Lochner et al., 1980; Judge et al., 1989; Olsson et al., 1994).

O sarcômero, menor unidade contrátil estrutural repetitiva da miofibrila, pode ser medido diretamente por microscopia de contraste de fases, ou indiretamente por difração de raio laser (Koolmes et al., 1986; Cross et al., 1980; Silva et al., 1999). De acordo com Marsh e Leet (1966) o comprimento do sarcômero pode levar tanto ao endurecimento quanto ao amaciamento da carne, dependendo do nível em que ocorre. A dureza da carne permanece constante ou aumenta ligeiramente quando o grau de encurtamento do sarcômero encontra-se entre 0 e 20%. Entretanto, a extensão desse encurtamento acarreta aumento acentuado da dureza, em encurtamentos de 20 a 40%, e em declínio tão acentuado quanto para valores acima de 60%. Essa redução dramática da dureza em condições de contração extrema é explicada pelo fato de que com o aumento do encurtamento o músculo vai por si mesmo tornando-se mais macio por desintegrar sua própria estrutura.

De acordo com Ruddick e Richards (1975) em músculos pré-rigor e em rigor, estendidos contidos ou excisados, observa-se alta correlação ($r > 0,80$) entre a maciez e o comprimento médio dos sarcômeros. Esta correlação, no entanto, é menor ($r = 0,68$) quando os músculos são analisados pós-rigor. Mas, mesmo que a medida do comprimento do sarcômero de músculos pós-rigor possa ser considerada uma indicação grosseira do arranjo molecular das miofibrilas, trata-se de um método simples e objetivo para se estimar o grau de contração, sendo útil para se predizer a maciez da carne.

Maturação

A maturação consiste em manter a carne sob temperaturas acima do ponto de congelamento da carne, ou seja, ao redor de 2°C, embalada a vácuo, por um período de estocagem estendido, com o objetivo de melhorar a maciez (Felício et al. 1982). A extensão desta maturação está relacionada com o nível de calpaínas existentes 24 horas *post mortem*, que varia de acordo com a concentração inicial e sua inativação durante o desenvolvimento do rigor mortis (Dransfield, 1994). Durante este período, a carne é conservada embalada a vácuo a fim de se evitar o crescimento microbiano e sua rápida deterioração. É neste processo que se observa a ação prolongada das

principais enzimas endógenas responsáveis pela hidrólise das proteínas miofibrilares que levam ao amaciamento da carne (Luchiari Filho, 2000).

A maciez final será resultante da eficiência com que ocorreu a degradação enzimática para desconstruir as miofibrilas compactadas durante o processo de *rigor mortis*. A eficiência da degradação enzimática depende do tempo de maturação e do nível de compressão das miofibrilas resultante do *rigor mortis*. O comprimento de sarcômero, quantidade de tecido conjuntivo e proteólise das miofibrilas podem explicar grande parte senão toda mudança observada na carne maturada. (Koochmaraie et al., 2002). Essa mudança apresentada após a maturação afeta a concentração de colágeno na carne e conseqüentemente a sua maciez. Nas carnes maturadas a quantidade de colágeno solubilizado é maior que em carnes não maturadas, pela ação proteolítica das catepsinas, liberadas ao meio extracelular e capazes de clivar o colágeno insolúvel em fragmentos solúveis (Monsón et al., 2004). Em estudo realizado com maturação de carne de frangos, os valores de força de cisalhamento decresceram ao longo da maturação, apresentando um declínio mais acentuado nos valores de cisalhamento nas primeiras duas horas de maturação, com a maturação completa atingida em 8 horas (Santos et. al., 2004).

Processamento da carne

A industrialização de carnes consiste na sua transformação em produtos cárneos, que são aqueles cujas características originais da carne fresca foram alteradas através de tratamentos físicos e/ou químicos. O processamento da carne fresca visa a elaboração de novos produtos e, por sua ação sobre enzimas de microrganismos de caráter degradativo, o prolongamento da vida de prateleira. Ele não modifica, de forma significativa, as características nutricionais, mas atribui características sensoriais como cor e sabor, próprias de cada processo (Romanelli et al., 2002).

Qin (2013) relata que alguns fatores afetam a qualidade do produto final de produtos cárneos processados. As diferentes cominuições trazem variações para a qualidade dos produtos cárneos, o que é possivelmente atribuído às diferenças no tamanho e formato das partículas por vários métodos de trituração. Entre os métodos utilizados para triturar, elencam-se o cortar, descascar e moer como os quais

utilizados na indústria de processamento. Adicionalmente, relata que processamentos afetam a composição química dos produtos cárneos. Para avaliar a qualidade dos produtos cárneos a análise de composição é normalmente realizada. Os teores de umidade, gordura, proteína e cinzas são analisados para estudar os efeitos das tecnologias de processamento, juntamente com parâmetros de qualidade como: cor, textura, capacidade de retenção de água, os quais afetam a qualidade do produto final (Qin, 2013).

- **Hambúrguer**

O hambúrguer é um produto cárneo industrializado, obtido de carne moída dos animais de açougue, adicionado ou não de tecido adiposo e ingredientes, moldado e submetido a processo tecnológico adequado (Brasil, 2000). Este alimento se tornou popular pela praticidade que representa, pois possui nutrientes que alimentam e saciam a fome rapidamente, o que combina com o estilo de vida de quem se instala em centros urbanos (Pinheiro et al., 2008). Mediante a popularidade do consumo de carnes, a transformação destas em produtos industrializados é de grande importância para praticidade, variedade e diversificação do cardápio (Costa, 2004).

Os hambúrgueres devem atender alguns parâmetros físicos e químicos: gordura (máxima) 23,0%; proteína (mínimo) 15,0%; carboidratos totais 3,0%; cálcio (máximo base seca) 0,1% em produto cru e 0,45% em produto cozido, conferindo assim ao produto características sensoriais próprias que envolvem textura, cor, sabor e odor específico do alimento (Brasil, 2000). Na venda o produto será designado de hambúrguer seguido do nome da espécie animal acrescido ou não de recheio, acompanhado das expressões que couberem. É considerado um produto reestruturado, pois a peça cárnea é parcialmente ou completamente cominuída em trituração grosseira, condimentado e novamente reconstituído e moldado (Brasil, 2000). Para se adequar às condições de armazenamento, o acondicionamento prevê embalagens com materiais que confirmam proteção apropriada ao hambúrguer (Brasil, 2000). Os produtos devem ser mantidos sob congelamento na exposição à venda. Porém, este produto está sujeito aos mesmos problemas presentes na carne moída, como toxinfecções alimentares e perda das características de qualidade por ação de microrganismos deteriorantes. Isto provavelmente se dá por falta de outra proteção

eficiente além do frio. A carne possui elevada atividade de água, pH favorável ao crescimento de microrganismos e elevado percentual de proteínas, minerais e vitaminas, tornando-as excelentes meios de cultura para o desenvolvimento de patógenos e microrganismos deteriorantes (Cardoso e Araújo, 2003).

Um dos maiores desafios para a indústria da carne é oferecer produtos com qualidade e de baixo custo com as mesmas características quando mantidas nas prateleiras. Mas, para isso, é imprescindível o estudo das propriedades funcionais e dos fatores que influenciam a matéria-prima, para garantir a satisfação do consumidor e bons resultados econômicos aos fabricantes (Olivo, 2004).

- **Linguiça frescal**

A linguiça do tipo frescal destaca-se por sua aceitação e comercialização. O processo de produção utiliza carne de animais de açougue, adicionadas ou não de tecido adiposo, e o processamento pode ocorrer em estabelecimentos de pequeno, médio e grande porte. Ao processo, agregam-se aditivos utilizados para melhorar as características sensoriais do produto (Silva et al., 2016). No que tange às características físico-químicas, quando comparada às cozidas e dessecadas, esse tipo de linguiça apresenta maior umidade (70,0%) e menor concentração proteica (12,0%) (Brasil, 2000). De acordo com Shimokomaki et al. (2006), umidade, gordura e proteínas são três componentes da carne considerados substratos primários que influenciam na qualidade da matéria-prima para fins de processamento industrial.

No passado, a fabricação de embutidos era considerada mais uma arte do que uma ciência. Com o forte crescimento na industrialização de carnes e sua relevância econômica, tornou-se necessário um maior entendimento dos princípios envolvidos na elaboração desses produtos (Shimokomaki et al., 2006).

No caso de embutidos frescos, a operação de moagem da carne é um fator adicional que pode favorecer a contaminação e a multiplicação de microrganismos (Almeida et al., 2002). A adição de sais de cura ajuda no desenvolvimento da cor, do aroma, a reduzir a oxidação da gordura e também, a proteger contra vários microrganismos (Terra et al., 2006). A atividade antimicrobiana dos nitritos depende do pH e aumenta à medida que este último diminui de 7,0 a 5,0 (ICMSF, 1985).

Além da adição de aditivos químicos, a refrigeração é um processo crítico, e age como método complementar à manutenção da qualidade do produto. A linguiça frescal quando armazenada de 12 a 30 dias, a 4°C, mantém sua conservação. A partir deste tempo, inicia-se o processo de deterioração da linguiça (Toyohara, 1989). Segundo Almeida (2005), mesmo quando a linguiça frescal é armazenada a 4°C, o desenvolvimento da rancidez e de micro-organismos limita sua vida útil para 30 dias, ainda que todos os requisitos de higiene sejam obedecidos durante o processamento e a comercialização.

Em função do seu baixo valor comercial as linguiças são produtos cárneos comercializados em grande escala, acessível a todos os setores da sociedade, sendo facilmente encontrada em vários segmentos do mercado varejista (Duarte, 2010).

Considerações Finais

Esta revisão de literatura dará embasamento a projetos que darão origem a trabalhos a serem apresentados em congressos nacionais e internacionais e artigos científicos a serem publicados em revistas indexadas ligadas à área de avicultura e tecnologia de produtos de origem animal. Essa revisão também contribuirá com dados e conclusões para indústria avícola e órgãos governamentais através da caracterização do perfil da carne de aves comercializada e de que maneira devem se adequar à ocorrência da miopatia peito de madeira para que continuem oferecendo produtos de qualidade ao consumidor, bem como, as empresas de genéticas que tem demonstrado grande preocupação com o problema que está ocorrendo no Brasil e em outros países de grandes potenciais avícolas.

Referências Bibliográficas

Abril M, Campo MM, Önenç A, Sañudo C, Albertí P, Negueruela AI (2001) Beef Colour evolution as a function of ultimate pH. **Meat Science** 58:69-78.

Alves DD, Goes RHTB, Mancio AB (2005) Maciez da carne bovina. **Ciência animal brasileira** 6:135-149.

Aktas N. (2003) The effects of pH, NaCl and CaCl₂ on thermal denaturation characteristics of intramuscular connective tissue. **Meat Science** 407:105-112.

Almeida AS, Gonçalves PMR, Franco RM (2002) Salmonella Em corte de carne bovina inteiro e moído. **Higiene Alimentar** 16:77-81.

Almeida CO (2005) **Avaliação físico química e microbiológica de linguiça Toscana porcionada e armazenada em diferentes embalagens, sob condições de estocagem similares as praticadas em Supermercados.** (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, universidade Estadual de Campinas, São Paulo.

Bailey AJ (2001) **Molecular mechanisms of ageing in connective tissues.** Mechanisms of Ageing and Development. Limerick, 122:735–755.

Bailey AJ (1985) The role of collagen in the development of muscle and relationship to eating quality. **Journal of Animal Science** 60:1580-1587.

Bailey RA, Watson KA, Bilgili SF, Avendano S (2015) The genetic basis of pectoralis major myopathies in modern broiler chicken lines. **Poultry Science** 00:1-10.

Belcher KW, Germann AE, Schmutz JK (2007) Beef with environmental and quality attributes: Preferences of environmental group and general population consumers in Saskatchewan, Canada. **Agriculture and Human Values** 24:333-342.

Boleman SJ, Boleman SL, Miller RK, Taylor JF, Cross HR, Wheeler TL, Koohmaraie M, Shackelford SD, Miller MF, West RL, Johnson DD, Savell JW (1997) Consumer evaluation of beef of known categories of tenderness. **Journal of Animal Science** 75:1521-1524.

Brasil (2000) Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento. Instrução Normativa nº4, de 31 de março de 2000. Aprova os Regulamentos Técnicos de

Identidade e Qualidade de Carne Mecanicamente Separada, de Mortadela, de Linguiça e de Salsicha. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF.

Brasil (2000) Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instrução Normativa n. 20, de 31 de Julho de 2000. Aprova Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Hambúrguer. **Diário Oficial da União**, Brasília.

Brunso K. Bredahl L, Grunert KG, Scholderer J (2005) Consumer perception of the quality of beef resulting from various fattening regimes. **Livestock Production Science** 94:83–93.

Calkins CR, Seideman SC (1988) Relationships among calcium-dependent protease, cathepsins b and h, meat tenderness and the response of muscle to aging. **Journal of Animal Science** 66:1186-1193.

Campo MM, Nute GR, Hughes SI, Enser M, Wood JD, Richardson RI (2006) Flavour perception of oxidation in beef. **Meat Science** 72:2, 303-311.

Cardoso L, Araujo WMC (2003) Parâmetros de qualidade em carnes comercializadas no Distrito Federal no período de 1997 – 2001. **Higiene Alimentar** 17:12 - 19.

Chatterjee D, Zhuang H, Bowker BC, Rincon AM, Sanchez Brambila G (2016) Instrumental texture characteristics of broiler pectoralis major with the wooden breast condition. **Poultry Science** 95(10): 2449-2454.

Chiquitelli Neto M (2004) **A importância do bem-estar na fazenda**. Gestão competitiva para a pecuária. Jaboticabal, 2ed., p.149-166.

Costa LO (2004) **Processamento e diminuição do reprocesso do hambúrguer bovino (HBV)**. (Curso de engenharia de alimentos) - Universidade Católica de Goiás, Goiânia.

Cross HR, West RL, Duntson TR (1980). Comparison of methods for measuring sarcomere length in beef semitendinosus muscle. **Meat Science** 5:261-266.

Culler RD, Parrish Júnior FC, Smith GC, Cross HR (1978) Relationship of myofibril fragmentation index to certain chemical, physical and sensory characteristics of bovine longissimus muscle. **Journal of Food Science** 43:1177-1180.

Dalle Zotte A, Cecchinato M, Quartesan A, Bradanovic J, Tasoniero G, Puolanne E (2014). How does “Wooden Breast” myodegeneration affect poultry meat quality? **Archivos Latinoamericanos de Produccion Animal** 22:476-479.

Dalle Zotte A, Tasoniero G, Puollanne E, Remignon H, Cecchinato M, Catelli E, Cullere M (2017). Effect of “Wooden Breast” Appearance on Poultry Meat Quality, Histological Traits, and Lesions Characterization. **Animal Science**, 62(2), 51-57.

Degáspari CH. Waszynskyj N. (2004) Propriedades antioxidantes de compostos fenólicos. **Visão Acadêmica** 5:33-40.

Department of Health (1994) Nutritional aspects of cardiovascular disease – Report on health and social subjects. London: HMSO, n.46.

Dransfield E (1994) Optimization of tenderization, ageing and tenderness. **Meat Science** 36:105-121.

Feitosa T (1999) Contaminação, conservação e alteração da carne. Fortaleza: Embrapa-CNPAT.

Franco BDGM, Landgraf M, Destro MT (2008) **Microbiologia dos Alimentos**. São Paulo: Atheneu.

Faustman WK, Chan D, Schaefer M, Havens A (1998). Beef color update: the role for vitamin E. **Journal of Animal Science**, 76:1019-1026.

Felício PE., Allen DM, Corte, OO (1982) Influência da maturidade da carcaça sobre a qualidade da carne de novilhos zebu. **Coletânea do Ital** 12:137-179.

Germano PML, Germano MIS (2011) **Higiene e vigilância sanitária de alimentos**. 4 ed. São Paulo: Varela.

French P, O'riordan EG, Monahan FJ, Caffrey PJ, Moloney AP (2003) Fatty acid composition of intra-muscular triacylglycerols of steers fed autumn grass and concentrates. **Livestock Production Science** 81:307-317

Freitas AK, Lage ME, Restle J (2007) Perfil de ácidos graxos da carne de novilhos nelore inteiros ou castrados em duas idades. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, Jaboticabal.

Godt RE (1996) Muscle Physiology. In: Nosek, T.M. **The essential of Human Physiology**. Denver: Visible Productions.

Hadlich JC, Longhini LGR, Mason MC (2008) A influência do colágeno na textura da carne. **Pubvet** 2:160.

Internationa Commission on Microbiological Specifications For Foods (ICMSF) (1985) **Ecología Microbiana de los Alimentos. II. Productos Alimenticios**. Zaragoza: Acribia, p. 143-152.

Judge MD, Aberle ED, Forrest JC, Hedrick HB, Merkel RA (1989) **Principles of meat science**. 2. ed. Dubuque: Kendall/Hunt Publishing Co.

Kindlein LLM, Lorscheitter TZ, Ferreira R, Sesterhen S, Rauber P, Soster S Vieira (2015) Occurrence of wooden breast in broilers breast fillets in different weights. In: INTERNATIONAL POULTRY SCIENTIFIC., p. 94-160.

Koohmaraie M, Geesink GH (2006) Contribution of postmortem muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system. **Meat Science** 74:34-43.

Koohmaraie M, Whipple G, Crouse JD (1990) Acceleration of postmortem tenderization in lamb and Brahman cross beef carcasses through infusion of calcium chloride. **Journal of Animal Science** 68:1268-1278.

Koohmaraie M, Kent MP, Shackelford SD, Veiseth E, Wheeler TL (2002) Meat tenderness and muscle growth: is there any relationship? **Meat Science** 62:345-352.

Kuttappan VA, Goodgame SD, Bradley CD, Mauromoustakos A, Hargis BM, Waldroup PW, Owens SM (2012) Effect of different levels of dietary vitamin E (dl- α -tocopherol acetate) on the occurrence of various degrees of white striping on broiler breast fillets. **Poultry Science** 91:3230-3235.

Kuttappan VA, Hargis BM, Owens CM (2016). White striping and woody breast myopathies in the modern poultry industry: a review. **Poultry Science** 95:2724–2733.

Lieber RL (1999) Skeletal Muscle is a Biological Example of a Linear Electro-Active Actuator. In: SPIE's 6th ANNUAL INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SMART STRUCTURES AND MATERIALS, La Jolla. La Jolla: Departments of Orthopaedics and Bioengineering, p. 1 – 7.

Lochner JV, Kauffman RG, Marsh BB (1980) Early postmortem cooling rate and beef tenderness. **Meat Science** 4:227-241.

Madruga MS, Souza WH, Rosales MD, Cunha MGG, Ramos JLF (2005) Qualidade da carne de cordeiros Santa Inês terminados com diferentes dietas. **Revista Brasileira de Zootecnia** 34:309-315.

Marsh BB, Leet NG (1966) Studies in meat tenderness. III - The effects cold shortening on tenderness. **Journal of Food Science** 31:450-459.

Mazzoni M, Petracci M, Meluzzi A, Cavani C, Clavenzani P, Sirri F (2015) Relationship between pectoralis major muscle histology and quality traits of chicken meat. **Poultry Science** 94(1):123-130.

Mendes AA, Komiyama CM (2011) Estratégias de manejo de frangos de corte visando a qualidade de carcaça e carne. **Revista Brasileira de Zootecnia** 40:352-357.

Monsón F, Sañudo C, Surre I (2004) Influence of cattle breed and ageing time on textural meat quality. **Meat Science** 68:565-602.

Monte ALS, Selaive-Villarroel AB, Garruti DS, Zapata JFF, Borges AS (2007) Parâmetros físicos e sensoriais de qualidade da carne de cabritos mestiços de diferentes grupos genéticos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos** 27:233-238.

Muchenje V, Dzama K, Chimanyo M, Strydom PE, Hugo A, Raats IG (2009) Some biochemical aspects pertaining to beef eating quality and consumer health: a review. **Food chemistry** 112:279-289.

Mudalal S, Lorenzi M, Soglia F, Cavani C, Petracci M (2015) Implications of white striping and wooden breast abnormalities on quality traits of raw and marinated chicken meat. **Animal**, 9 (4):728–734.

Mutryn MF, Brannick EM, Fu W, Lee WR, Abasht B (2015) Characterization of a novel chicken muscle disorder through differential gene expression and pathway analysis using RNA-sequencing. **BMC Genomics** 16:1-19.

Nanni Costa L, Fiego DP, Dallolio S, Davoli R, Russo V (2002) Combined effects of pre-slaughter treatments and lairage time on carcass and meat quality in pigs of different halothane genotype. **Meat Science**, 61, 41-47.

Nascimento VP, Kindlein L, Zimmermann FC, Owens CM, Russel SM (2012) Broiler carcass quality – An approach from the production sites. 2ed. São Paulo: Zinpro Corp; White Striping in broiler breast meat; p. 83-88.

Nelson DL, Cox MM (2006) **Lehninger princípios da bioquímica** 4. ed. São Paulo: Sarvier, 1202 p.

Oliveira NMS, Nascimento LC, Fiorini JE. (2002) Isolamento de bactérias facultativas mesófilas em carnes frescas bovinas e suínas. **Higiene Alimentar**, 16(94):68-74.

Olivo R (2004) Atualidades na qualidade da carne de aves. **Revista Nacional da Carne** 28:38-50.

Olson DG, Parrish FCJR, Stromer MH (1976) Myofibril fragmentation and shear resistance of three bovine muscles during postmortem storage. **Journal Food and Science** 41:1036-41.

Olsson U, Hertzman C, Tornberg E (1994) The influence of low temperature, type of muscle and electrical stimulation on the course of rigor mortis, ageing and tenderness of beef muscles. **Meat Science** 37:115-131.

Owens CM (2014) Identifying quality defects in poultry processing. **Watt Poultry USA**, 42-50.

Osawa CC, Gonçalves LAG, Ragazzi S (2006) Titulação potenciométrica aplicada na determinação de ácidos graxos livres de óleos e gorduras comestíveis. **Química Nova** 29:593-599.

Pardi MC, Santos IF, Souza ER (2001) **Ciência, higiene e tecnologia da carne**. 2.ed. Goiânia: UFG, 623p.

Parrish FC, Vandell CJ, Culler RD (1973) Relationship of tenderness measurements made by the Armour Tenderometer to certain objective, subjective and organoleptic properties of bovine muscle. **Journal of Food Science** 38:1214-1219.

Pinheiro RSB, Jorge, AM, Francisco CL, Andrade, EN (2008) Composição Química e Rendimento da carne ovina *in natura* e assada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos** 28:154 - 157.

Powell TH, Hunt MC, Dikeman ME (2000) Enzymatic assay to determine collagen thermal denaturation and solubilization. **Meat Science** 54:307-311.

Purchas RW, Burnham DL, Morriw ST (2001) Effects of pre-slaughter holding time on dressing-out percent and meat quality for bulls and steers. **Journal of Animal Science** 2:2.

Ramalho VC, Jorge N (2006) Antioxidantes utilizados em óleos, gorduras e alimentos gordurosos. **Química Nova** 29:755-760.

Ramos EM, Gomide LAM (2017) **Avaliação da qualidade de carnes – Fundamentos e metodologias**, 2^oed: Textura, suculência e maciez da carne. Viçosa: UFV.

Romanelli PF, Caseri R, Lopes Filho JF (2002) Processamento da Carne de Jacaré do Pantanal (*Caiman crocodilus yacare*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos** 22:70-75.

Rosenvold K, Andersen HJ (2003) Factors of significance for pork quality – a review. **Meat Science**, 64 (3), 219-237.

Ruddick JE, Richards JF (1975) Comparison of sarcomere length measurement of cooked chicken pectoralis muscle by laser diffraction and oil immersion microscopy. **Journal of Food Science** 40:500-501.

Sanchez Brambila G, Chatterjee D, Bowker B, Zhuang H (2017) Descriptive texture analyses of cooked patties made of chicken breast with the woody breast condition. **Poultry Science** 96(9), 3489-3494.

Santos HC, Brandelli A, Ayub MAZ (2004) Influence of post-mortem aging in tenderness of chicken breast fillets. **Ciência Rural** 34:905-910.

Savell JW, Mueller SL, Baird BE (2005) The chilling of carcasses. **Meat Science** 70:449-459.

Seabra LMJ, Gonçalves LAG, Zapata JFF (2001) O papel das enzimas musculares no processo de maturação de carnes. **Higiene Alimentar** 15:15-19.

Shimokomaki M, Olivo R (2006) **Atualidades em ciências e tecnologia de alimentos**. [S. l]: Varela.

Sihvo HK, Immonen K, Puolanne E (2014) Myodegeneration with fibrosis and regeneration in the pectoralis major muscle of broilers. **Veterinary pathology** 51:619-623.

Sihvo HK, Lindén J, Airas N, Immonen K, Valaja J, Puolanne E (2017) Wooden breast myodegeneration of Pectoralis major muscle over the growth period in broilers. **Veterinary Pathology Online** 54:119-128.

Silva CA, Sousa EL, Sousa CP (2004) Estudo da qualidade sanitária da carne moída comercializada na cidade de João Pessoa, PB. **Higiene Alimentar** 18(121):90-4.

Silva JA, Patarata L, Martins C (1999). Influence of ultimate pH on bovine meat tenderness during ageing. **Meat Science** 53:453–459.

Silva JM, Colombo SG, Bachini TV (2016) Modelo de Gestão para Otimização do Rendimento de Envoltórios Naturais na Fabricação de Linguiça Suína Tipo Frescal. **Revista Latino Americana de Inovação e Engenharia de Produção** 4:124 – 139.

Silva L, Pinto J, Carrola J, Paiva-Martins F (2010) Oxidative stability of olive oil after food processing and comparison with other vegetable oils. **Food Chemistry** 121:1177-1187.

Sinclair AJ (1993) Dietary fat and cardiovascular disease: the significance of recent developments for the food industry. **Food Australia** 45:226-231.

Soglia F, Mudalal S, Babini E, Di Nunzio M, Mazzoni M, Sirri F, Cavani C, Petracchi M (2016) Histology, composition, and quality traits of chicken Pectoralis major muscle affected by wooden breast abnormality. **Poultry Science** 95: 651–659.

Souza ARM, Arthur V, Canniatti-Brasaca SG (2009) Influência da radiação gama e de diferentes dietas na qualidade da carne de cordeiros Santa Inês. **Ciência e Tecnologia de Alimentos** 29:709-715.

Tabee E, Azadmard-Damirchi S, Jagestad M, Dutta PC (2008) Lipids and phytosterol oxidation in commercial French fries commonly consumed in Sweden. **Journal of Food Composition and Analysis** 21:169-177.

Tavares TM, Serafini AB. (2006) Carnes de hambúrgueres prontas para consumo: aspectos legais e riscos bacterianos. **Revista de Patologia Tropical** 35(1):1-21.

Taylor RG, Geesink GH, Thompson VF, Koohmaraie M, Goll DE (1995) Is Z-disk degradation responsible for postmortem tenderization? **Journal of Animal Science** 73:1351-1367.

Terra N, Cichoski AJ, Freitas RJS (2006) Valores de nitrito e TBARS durante o processamento e armazenamento da paleta suína curada, maturada e fermentada. **Ciência Rural** 36:965-970.

Tijare VV, Yang FL, Kuttappan VA, Alvarado CZ, Coon CN, Owens CM (2016) Meat quality of broiler breast fillets with white striping and woody breast muscle myopathies. **Poultry Science** 95:2167–2173.

Tornberg E (2005) Effects of heat on meat proteins – implications on structure and quality of meat products. **Meat Science** 70:493-508.

Toyohara DQK (1989) **Determinação de nitrato, nitrito e -nitrosaminas em linguiça.** (Doutorado em Ciências de alimentos)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Trocino A, Piccirillo M, Birolo M, Radaelli D, Bertotto E, Filiou E, Petracci M, Xiccato G (2015) Effect of genotype, gender and feed restriction on growth, meat quality and the occurrence of white striping and wooden breast in broiler chickens. **Poultry Science** 94:2996-3004.

Voet D (2008) **Fundamentos da Bioquímica: a vida em nível molecular.** 2. ed. Porto Alegre: Artmed. 1264 p.

Waraho T, Mc Clements DJ, Decker EA (2011) Mechanisms of lipid oxidation in food dispersions. **Trends in Food Science & Technology** 22:3-13.

Warris PD, Brown SN (2000) Bem-estar de suínos e qualidade da carne: uma visão britânica. In: Conferencia Virtual Internacional sobre Qualidade de Carne Suína, 1., 2000. **Anais...** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, p. 17-20.

White A, O'Sullivan A, O'Neill EE, Troy DJ (2006) Manipulation of the pre-rigor phase to investigate of proteolysis and sarcomere length in determining the tenderness of bovine M. longissimus dorsi. **Meat science** 73:204-208.

Willians CM (2000) Dietary fatty acids and human health. **Annales de Zootechnie** 49:165-180.

Wold JP, Veiseth-Kent E, Høst V, Løvland A (2017) Rapid on-line detection and grading of wooden breast myopathy in chicken fillets by near-infrared spectroscopy. *PLoS One*, 12(3), e0173384.

Wood JD, Richardson RI, Nute GR, Fisher AV, Campo MM, Kasapidou E, Sheard PR, Enser M (2003) Effects of fatty acids on meat quality: a review. **Meat Science** 66:21–32.

Zapata JFF, Nogueira CM, Seabra LMJ, Barros NN, Borges AS (2001) Composição centesimal e lipídica da carne de ovinos do Nordeste brasileiro. **Ciência Rural** 31:691-695.

Zeola NMBL, Souza PA, Souza HBA, Silva Sobrinho AG, Barbosa JC (2007) Cor, capacidade de retenção de água e maciez da carne de cordeiro maturada e injetada com cloreto de cálcio. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia** 59:1058-1066.

CAPÍTULO 2

Este capítulo foi redigido segundo as normas editoriais do periódico "Poultry Science".

Capítulo 2 - Caracterização física, química e histológica do músculo *Pectoralis major* de frangos de corte acometidos pela miopatia peito de madeira

Título curto

Caracterização de peito de frangos acometidos pela miopatia Peito de Madeira

Rodrigo Fortunato de Oliveira^{AC}, Juliana Lolli Malagoli de Mello^A, Fábio Borba Ferrari^A, Erika Nayara Freire Cavalcanti^A, Rodrigo Alves de Souza^{AB}, Mateus Roberto Pereira^A, Aline Giampietro-Ganeco^B, Erick Alonso Villegas-Cayllahua^A, Heloisa de Almeida Fidelis^A, Maísa Santos Fávero^A, Lizandra Amoroso, Pedro Alves de Souza^A e Hirasilva Borba^A

^AUniversidade Estadual Paulista – UNESP, Departamento de Tecnologia, via de acesso Professor Donato Castellane, s/n, Zona Rural, 14884-900, Jaboticabal, São Paulo, Brasil.

^BUniversidade de São Paulo – USP, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Avenida Duque de Caxias Norte, nº 225, 13635-900, Pirassununga, São Paulo, Brasil.

^CAutor correspondente. Email: fortunatorodrigo@ymail.com

Resumo: As carcaças com alterações musculares têm valor depreciado ou são condenadas pelo serviço de inspeção, dentre elas, as miopatias peitorais têm sido objetivo de grande enfoque nas pesquisas atuais. Este estudo objetivou caracterizar os efeitos da miopatia peito de madeira sobre a qualidade física, química e histológica da carne de peito de frangos de corte. Foram utilizadas 60 amostras de peito de frangos de corte machos da linhagem Cobb MX abatidos com 45 dias de idade. Amostras normais (ausência de miopatia; grupo controle; n=20), de grau moderado (dureza apenas em uma região do filé de peito; n=20) e de grau severo (dureza em toda a extensão do filé de peito; n=20), sendo todas classificadas *in natura*. Amostras com grau moderado da miopatia apresentaram maior ($P=0,0266$) capacidade de retenção de água do que o grau severo, o que pode possivelmente, reduzir perdas nutricionais durante o armazenamento, sendo um benefício para a indústria de processamento de carne. Foi verificado aumento ($P=0,004$) da concentração de colágeno total (0,29% em amostras normais para 0,43 e 0,48% em amostras com grau moderado e severo, respectivamente). Amostras de peito de frango acometidas pelo grau severo apresentaram menor ($P<0,0001$) índice de fragmentação miofibrilar (64,51) e menor ($P=0,0002$) concentração de gordura (2,17%) do que amostras de frango normais (80,45 e 3,79%, respectivamente). Na análise macroscópica, o músculo peitoral de aves acometidas pelos graus moderado e severo da miopatia peito de madeira apresentou coloração, em geral, pálida com regiões enrijecidas, irregulares e avermelhadas (sufusões e petéquias), com presença de estriações brancas. Na análise microscópica, tanto o grau moderado, quanto o severo da miopatia caracterizaram-se pela perda do aspecto poligonal das fibras musculares. O grau severo de peito de madeira apresentou maior discrepância no tamanho das fibras musculares e significativa hipertrofia das mesmas. Amostras acometidas pela miopatia peito de madeira são maiores e mais pesadas, possuem qualidade física inferior, quando comparadas com a carne de frango normal, o que pode ser prejudicial ao processamento da carne de aves, porém apresentam menor concentração de gordura do que peito de aves normais. O grau severo possui níveis positivos de ácidos graxos da família $\omega 6$ que auxiliam na redução de colesterol. A miodegeneração tem a hipertrofia muscular como mecanismo compensatório, além da perda do aspecto poligonal, da heterogeneidade da maioria das fibras musculares e do aumento de tecido conjuntivo intersticial e de infiltrado inflamatório em peitos de frango acometidos pela miopatia.

Palavras-chave: alteração muscular, maciez, miodegeneração, qualidade da carne

Introdução

Nos últimos anos, a ocorrência da miopatia peito de madeira em frangos de corte tem sido relatada e está associada ao rápido crescimento e desenvolvimento das aves, mas sua etiologia permanece desconhecida (Mudalal *et al.* 2014; Sihvo *et al.* 2014; Mutryn *et al.* 2015). A detecção de casos graves de peito de madeira pode ser realizada e determinada através da palpação do músculo *pectoralis major*. A identificação e caracterização da miopatia peito de madeira no abatedouro são baseadas na aparência e dureza do peito de frango (Sihvo *et al.* 2014) e dependem da sensibilidade, treinamento e conhecimento do avaliador.

As alterações macroscópicas são restritas ao músculo *pectoralis major*, caracterizadas por áreas expansivas pálidas e endurecidas (Sihvo *et al.*, 2014) acompanhadas ou não de estriação branca. Ainda de acordo com o autor, músculos com miopatia peito de madeira demonstram graus variados de fibras necróticas, fibrose, pequenas fibras em regeneração, infiltração de células imunes e extensa deposição de colágeno fibrilar. Esta miopatia pode alterar parâmetros importantes para processos industriais.

A miopatia peito de madeira pode ter implicações substanciais na qualidade da carne, mas poucos estudos foram encontrados sobre caracterização da miopatia. Além disso, não há trabalhos suficientes sobre características físicas e histomorfométricas e composição química da carne acometida pela miopatia peito de madeira. Enquanto isso, a qualidade física e química, como a composição histológica da carne de frango acometido pela miopatia peito de madeira, principalmente dos filés acometidos pelo grau severo, para consumo *in natura* ou na fabricação de produtos processados permanece incerto. Diante do exposto, esse estudo teve como objetivo caracterizar física, química e histomorfometricamente a carne de peito de frangos de corte acometidos pela miopatia peito de madeira.

Material e Métodos

Coleta de amostras e procedimento experimental

As aves foram abatidas de acordo com a rotina do abatedouro, com desossa mecânica do peito e depois de classificadas e coletadas, foram transportadas para o laboratório da Universidade sob condições de refrigeração ($\pm 4^{\circ}\text{C}$) para posteriores análises de qualidade. As amostras, sem osso e sem pele, foram classificadas por meio de palpação de acordo com o grau de severidade da miopatia (moderado (n=20) - dureza apenas na região cranial ou na região

caudal do filé de peito; severo (n=20) - dureza em toda a extensão do filé de peito). Foram coletadas também 20 amostras de filé de peito classificadas como normais (ausência de miopatia), as quais foram utilizadas como grupo controle para comparação com as amostras afetadas. Para caracterizar a profundidade afetada e a evolução do quadro, foi realizada a coleta de fragmentos musculares de dois centímetros quadrados da área afetada e da região profunda a ela após a coleta e classificação dos peitos de frango.

Após o estabelecimento do *rigor mortis* (4 horas pós abate), as amostras coletadas foram pesadas individualmente e realizadas as análises físicas descritas a seguir. Para as análises químicas, sub-amostras de cada grupo estudado foram congeladas (-20°C) por um período de 30 dias para posteriores análises. Foram utilizadas 60 amostras de carne de peito de frangos de corte machos, da linhagem Cobb MX, criados em sistema intensivo tradicional e abatidos aos 45 dias de idade. As amostras foram adquiridas em abatedouro comercial (Estado de São Paulo, Brasil) inspecionado pelo Serviço de Inspeção Federal.

Métodos

Análises físicas

Foi realizada a biometria das estruturas com o auxílio de uma régua para comprimento (cm) e largura (cm), e de um paquímetro digital 6" (Marca Zaas Precision, AMATOOLS Commercial e Importadora Ltda) para a espessura (cm), de acordo com metodologia de Mendes *et al.* (1993).

A coloração (luminosidade - L*; intensidade de vermelho - a* e intensidade de amarelo - b*) foi determinada imediatamente após a desossa usando um colorímetro Minolta CR-400 (Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japão) (configurações: iluminação difusa/0 ângulo de visão, iluminante D65, componente especular incluído) calibrado para um padrão branco. O equipamento foi posicionado em três locais diferentes da superfície externa do músculo *pectoralis major* (a qual estava anteriormente em contato com a pele) e também em três locais diferentes da superfície interna do músculo (a qual estava em contato com o osso esterno).

O pH da carne foi avaliado em triplicata usando um peagâmetro digital (Testo 205, Testo Inc., Sparta, NJ, EUA) munido de eletrodo de penetração, o qual foi inserido na parte cranial de cada amostra. A capacidade de retenção de água (CRA) foi determinada em triplicata conforme descrito por Hamm (1961).

As amostras foram cozidas para avaliação das perdas de peso durante o cozimento (PPC), segundo o método descrito por Honikel (1987), e os resultados foram obtidos por diferença entre os pesos inicial e final, expressos em porcentagem. A força de cisalhamento (maciez) foi realizada utilizando o método Meullenet-Owens Razor Shear (MORS) acoplado ao Texture Analyser TA-XT2i nas amostras cozidas. A força de cisalhamento também foi avaliada por meio do dispositivo Warner-Bratzler acoplado ao Texture Analyser TA-XT2i, em que, de cada amostra cozida foram obtidas três sub-amostras com área de secção de 1 cm², as quais foram colocadas com as fibras orientadas no sentido perpendicular ao do dispositivo Warner-Bratzler e submetidas ao corte (Lyon *et al.*, 1998). A força necessária para cisalhar as amostras foi expressa em Newton.

Análises químicas

A composição química foi determinada após a realização das análises físicas. Para as análises químicas, sub-amostras de cada grupo estudado foram congeladas (-20°C) por um período de 30 dias. Após congelamento, as amostras foram liofilizadas (SuperModulyo220, Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, USA) e moídas para posterior determinação das concentrações de proteína e de matéria mineral, conforme preconizado pela AOAC (2011), métodos 977.14 e 920.153, respectivamente. O percentual de umidade foi determinado por diferença entre os pesos das amostras antes e após a liofilização (AOAC 2011; método 950.46). A gordura foi determinada de acordo com o método proposto por Bligh e Dyer (1959).

A oxidação lipídica foi determinada nas amostras in-natura no momento de retorno do abatedouro utilizando o teste de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARs), segundo a metodologia descrita por Vyncke (1970). O colesterol foi determinado após adaptação do método descrito por Saldanha *et al.* (2004). Foi pesado 0,5 g de amostra liofilizada em tubo falcon de 50 mL, ao qual foram adicionados 6 mL de etanol e 4 mL de KOH 50%. Os tubos foram mantidos em banho-maria com agitação (40 °C) até que as amostras estivessem totalmente dissolvidas e, posteriormente, por mais 10 minutos (60 °C). Por três vezes foram adicionadas 10 mL de N-hexano para a separação de fases e foi retirada a fase superior da amostra para outro tubo. Da fase superior, foram pipetadas alíquotas de 3 mL para tubos de ensaio e foi realizada a secagem com gás nitrogênio. Após secagem, em cada tubo foi adicionado 0,5 mL de álcool isopropílico. Os tubos foram agitados em vórtex e foram adicionados 3 mL de reagente enzimático para análise de colesterol em sangue (Saldanha *et al.*

2004 adaptado). Em seguida, o material foi mantido em banho-maria (37 °C) por 10 minutos. Foi realizada leitura das amostras em espectrofotômetro (Shimadzu UV-1800, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan) com λ igual a 500 nm (conforme o fabricante do kit).

Os ácidos graxos foram isolados de acordo com o método proposto por Bligh e Dyer (1959), que remove a fase lipídica da amostra. A esterificação dos ácidos graxos foi realizada pelo método de metilação (ISO 5509, 1978) e analisada por cromatógrafo gasoso (Shimadzu 14 B, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão) equipado com detector de ionização de chama e coluna capilar de sílica fundida (Omegawax 250); H₂ foi usado como gás de transporte. Os picos foram identificados por comparação com os tempos de retenção de padrões de composição conhecida.

As concentrações de colágeno total, solúvel e insolúvel foram quantificadas nas amostras pela determinação do aminoácido hidroxiprolina conforme procedimentos preconizados por Woessner Junior (1961) e Cross et al. (1973), adaptadas por Hadlich et al. (2006). O índice de fragmentação miofibrilar (IFM) foi determinado como descrito por Culler et al. (1978), utilizando o método do biureto (Gornall *et al.* 1949) para determinação da concentração de proteínas na suspensão de miofibrilas, sendo calculado de acordo com a seguinte fórmula: IFM= densidade óptica x 200. O comprimento de sarcômero foi determinado como descrito por Cross *et al.* (1981). De cada amostra crua foram obtidas sub-amostras de 0,5 g e colocadas em tubo falcon de 50 mL às quais, em seguida, foram adicionados 15 mL de iodeto de potássio a 1,328% e 15 mL de cloreto de potássio a 0,596%. Posteriormente, as amostras foram homogeneizadas em Ultra-turrax (15.000 G) durante 30 segundos. As lâminas foram preparadas com uma gota de homogenato imediatamente antes da leitura. As leituras foram realizadas em microscópio (Novel BM2100) com contraste de fase em ampliação 1000x (objetiva de 100x, ocular 10x). O comprimento de sarcômero foi expresso em μm .

Análise histológica

Para análise dos parâmetros histológicos da fibra muscular, amostras transversais de dois centímetros do músculo de dez aves por grupo estudado foram retiradas da região cranio-lateral do peito e, em seguida, armazenadas durante 24 horas em recipientes plásticos contendo solução fixadora de Bouin. Posteriormente, as amostras foram lavadas em álcool 70% (para remoção do fixador) e desidratadas em série de concentração crescente de etanol (70, 80, 90 e 100%). Em seguida o material foi diafanizado em xilol e infiltrado em parafina histológica.

Análise estatística

Os dados obtidos nas análises físico-químicas foram analisados utilizando um delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) com 20 repetições. Os resultados foram analisados pelo procedimento General Linear Models do Statistical Analysis System (SAS Institute Inc. 2002–2003). Todos os dados foram testados por análise de variância e comparados pelo teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

Resultados e discussão

Filés acometidos pela miopatia peito de madeira apresentaram maior peso ($P < 0,001$), maior comprimento ($P = 0,011$) e largura ($P = 0,001$), sendo as amostras de grau severas mais pesadas entre todos os grupos avaliados (Tabela 1). O maior peso encontrado em filés de frango acometidos pela miopatia peito de madeira foi consistente com outros estudos (Chatterjee *et al.* 2016; Soglia *et al.* 2016; Xing *et al.* 2017) e pode estar associado à seleção para crescimento e deposição de massa muscular rápidos, o que excede a capacidade de sustentação muscular dos animais (Mudalal *et al.* 2015; Petracci e Cavani 2011).

Tabela 1. Peso, comprimento e largura de peito de frangos de corte acometidos pela miopatia peito de madeira.

Variáveis	Normal	Moderado	Severo	P-Valor
Peso (g)	523,13±18,58 ^c	600,88±18,58 ^b	695,82±18,58 ^a	<0,001
Comprimento (cm)	18,34±0,25 ^b	19,36±0,25 ^a	19,17±0,25 ^a	0,011
Largura (cm)	10,90±0,15 ^b	11,43±0,15 ^a	11,72±0,15 ^a	0,001

^{a-c}Médias seguidas por letras distintas nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

pH e cor da carne

A carne de frango acometida pelo grau severo da miopatia peito de madeira apresentou maior ($P < 0,0001$) pH (6,33) do que a carne de frangos classificados como normais (6,08) e com o grau moderado da miopatia (6,07) conforme também foi descrito por Zhuang e Bowker (2018) e Baldi *et al.* (2019). De acordo com Le Bihan-Duval *et al.* (2008), os maiores valores de pH observados em amostras acometidas pela miopatia peito de madeira poderiam estar associados ao armazenamento de glicogênio, ao peso do músculo do peito e à correlação existente entre estas duas variáveis, fazendo com que o peito de tamanho maior apresente potencial glicolítico reduzido, resultando em pH final mais alto. Outros autores (Zambonelli *et al.*, 2017; Beauclercq *et al.*, 2017) destacaram que o pH final menos reduzido também é, provavelmente devido ao

estado energético e às alterações nas vias metabólicas do músculo, onde a quantidade de ácido láctico produzido na fase de rigor mortis, não foi o suficiente para reduzir o pH de filés de frango acometidos pela miopatia peito de madeira, principalmente no grau severo.

Tabela 2. Valores médios e desvio padrão da luminosidade (L*), intensidade de vermelho (a*) e de amarelo (b*) da carne de peito de frangos de corte acometidos pela miopatia peito de madeira.

Variáveis	Normal	Moderado	Severo	P-Valor
pH	6,08±0,04 ^b	6,07±0,03 ^b	6,33±0,04 ^a	<0,001
Superfície Externa				
L*	60,86±0,97 ^b	60,23±0,68 ^b	65,19±1,08 ^a	0,002
a*	1,02±0,42	1,18±0,22	0,92±0,20	0,686
b*	0,11±0,36 ^c	1,59±0,28 ^b	3,59±0,52 ^a	<0,001
Superfície Interna				
L*	59,79±0,85 ^{ab}	57,89±1,03 ^b	62,05±1,07 ^a	0,033
a*	1,01±0,29	0,94±0,20	1,41±0,50	0,677
b*	2,76±0,35 ^b	2,95±0,34 ^b	5,16±0,53 ^a	0,002

^{a-c}Médias seguidas por letras distintas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

A carne acometida pelo grau severo da miopatia peito de madeira apresentou maiores (P<0,05) valores de L* (65,19) e de b* (3,59) na superfície externa em relação as amostras classificadas como normais (60,86 e 0,11, respectivamente) ou como grau moderado (60,23 e 1,59, respectivamente) da miopatia (Tabela 2). Com relação à superfície interna, a carne acometida pelo grau severo da miopatia peito de madeira apresentou maiores (P<0,05) valores de L* (62,05) e de b* (5,16) do que amostras classificadas como grau moderado (57,89 e 2,95, respectivamente) e amostras normais (59,79 e 2,76, respectivamente). Não houve diferença significativa (P>0,05) entre as amostras de frango normais e aquelas acometidas pela miopatia peito de madeira quanto à intensidade de vermelho nas superfícies externa e interna. Os resultados de avaliação de cor indicam que as amostras acometidas pela miopatia (principalmente no grau severo) são pálidas e amareladas, em comparação com amostras normais, e podem ser explicados por modificações no tecido muscular após “degeneração tecidual” provocando uma maior umidade nos músculos afetados, pela baixa capacidade de retenção de água encontrada nos filés e pela fibrose severa (Mudalal *et al.* 2015; Sánchez-Brambila *et al.* 2016; Baldi *et al.* 2019).

Capacidade de retenção de água, perda de peso por cozimento e força de cisalhamento

Amostras provenientes de frangos com grau severo da miopatia peito de madeira apresentaram menor capacidade de retenção de água e maior perda de peso por cozimento do que a carne de frangos normais. Quanto à maciez da carne, não foram verificadas diferenças significativas ($P>0,05$) entre as amostras de frango normais e aquelas acometidas pela miopatia. (Tabela 3).

Tabela 3. Valores médios e desvio padrão de capacidade de retenção de água (CRA), perda de peso por cozimento (PPC) e força de cisalhamento utilizando os métodos Warner-Bratzler (WB) e MORS da carne de peito de frangos de corte acometidos pela miopatia peito de madeira.

Variáveis	Normal	Moderado	Severo	P-Valor
CRA (%)	71,89±0,89 ^a	72,51±0,75 ^a	68,92±1,02 ^b	0,027
PPC (%)	22,54±0,67 ^b	26,25±0,59 ^a	26,27±0,77 ^a	<0,001
WB (N)	29,70±4,49	37,50±3,31	28,81±5,38	0,149
MORS (N)	11,58±1,56	9,82±0,48	9,83±0,47	0,554

^{a-b}Médias seguidas por letras distintas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$).

Os músculos afetados pela miopatia peito de madeira podem exibir capacidade reduzida de retenção de água devido à miodegeneração (Mazzoni et al. 2015). Conforme verificamos, a carne afetada pela miopatia peito de madeira apresenta propriedades tecnológicas inferiores às da carne normal, tais como capacidade de retenção de água reduzida, alterações de textura (Mazzoni *et al.* 2015) que modificam não apenas o processamento, mas a qualidade final da carne como um todo (Mudalal *et al.* 2015), o que poderia estar associado à dureza característica dos cortes com esta miopatia, mas que não foi observado neste estudo, mas o que pode ter provocado um maior valor de L* em filés de frango acometidos pelo grau severo da miopatia peito de madeira (Tabela 2). As perdas decorrentes do cozimento, que resultam em carnes menos suculentas e menos macias (Moura *et al.* 2015), foram maiores em amostras com a miopatia peito de madeira comparados com amostras de frangos normais. Avaliações histológicas realizadas em nosso trabalho (Figura 3) e relatadas por Sihvo et al. (2014), Trocino et al. (2015) e Velleman e Clark (2015), revelaram mudanças estruturais em peitos de frango acometidos pela miopatia peito de madeira, como a degeneração da fibra muscular que contribui

para redução da capacidade de retenção de água, provocando maiores perdas por cozimento; associada ao acúmulo de gordura intramuscular o que pode ter causado um maior valor de b^* em amostras acometidas pela miopatia peito de madeira na superfície externa e interna de filés de frango, principalmente no grau severo (Tabela 2).

Colágeno, índice de fragmentação miofibrilar e comprimento de sarcômero

O grau severo da miopatia peito de madeira apresentou menor ($P < 0,0001$) índice de fragmentação miofibrilar (IFM) comparado ao de amostras normais e das acometidas pelo grau moderado da miopatia peito de madeira (Tabela 4), resultado esse que confirma a dureza de amostras cruas do grau severo da miopatia peito de madeira. O índice de fragmentação miofibrilar tem relação direta com a maciez, sendo que, valores maiores de IFM se correlacionam com menor força de cisalhamento e maior maciez (Culler *et al.* 1978 e Koohmaraie *et al.* 1990). Não existem padrões estabelecidos para índice de fragmentação miofibrilar em carne de frango, o que torna mais difícil relacioná-lo com a maciez (Mello *et al.* 2017).

Com relação à concentração de colágeno, os resultados indicaram que amostras de peito acometidas pela miopatia apresentaram maiores concentrações de colágeno insolúvel e total, quando comparadas às amostras normais, o que pode contribuir para a rigidez dos tecidos, reduzindo a maciez e prejudicando a qualidade da carne. A fibrose, provavelmente, resultou no aumento da concentração de colágeno. O aumento da rigidez do músculo afetado por peito de madeira está associado não apenas ao aumento da concentração de colágeno, mas também às características estruturais e de extensão do tecido conjuntivo fibroso, diâmetro da fibrila, reticulação, densidade da fibrila e outras características estruturais (Velleman *et al.* 2017).

Embora um conteúdo maior de colágeno insolúvel e total tenha sido encontrado na miopatia peito de madeira, não houve diferenças significativas ($P > 0,05$) na força de cisalhamento em amostras cozidas de frangos, possivelmente, devido à desnaturação e solubilização das ligações cruzadas de colágeno que ocorrem em temperatura entre 53°C e 63°C (Soglia *et al.* 2017).

Tabela 4. Valores médios e desvio padrão do índice de fragmentação miofibrilar (IFM), colágeno e comprimento de sarcômero da carne de peito de frangos de corte acometidos pela miopatia peito de madeira.

Variáveis	Normal	Moderado	Severo	P-Valor
IFM	80,45±6,22 ^a	92,99±3,79 ^a	64,51±3,81 ^b	<0,0001
Colágeno Solúvel (%)	0,13±0,02	0,17±0,02	0,18±0,02	0,1490
Colágeno Insolúvel (%)	0,16±0,02 ^b	0,26±0,02 ^a	0,30±0,04 ^a	0,0006
Colágeno Total (%)	0,29±0,03 ^b	0,43±0,04 ^a	0,48±0,05 ^a	0,0040
Sarcômero (µm)	1,50±0,02 ^b	1,49±0,02 ^b	1,66±0,04 ^a	0,0005

^{a-b}Médias seguidas por letras distintas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

O grau severo da miopatia peito de madeira, apresentou maior comprimento de sarcômero comparado às amostras de frango normal e de grau moderado da miopatia (P=0,0005). Esse resultado sugere que a dureza observada em filés acometidos pela miopatia peito de madeira em outras pesquisas, esteja ocorrendo devido a outras circunstâncias além do encurtamento de sarcômeros. Tijare et al. (2016) relataram que os sarcômeros afetados pela miopatia peito de madeira tendiam a ser mais longos que os filés normais de peito. Acredita-se que haja relação direta entre o comprimento de sarcômero e a maciez da carne, em que, quanto maior o comprimento de sarcômero maior a maciez da carne (Cheng e Sun 2008; Pearce *et al.* 2011), relação essa que não pode ser usada em filés de frango acometidos pela miopatia peito de madeira.

Composição química, oxidação lipídica e colesterol

O grau severo da miopatia peito de madeira apresentou menor (P=0,0002) concentração de gordura, maior (P<0,0001) umidade e menor (P=0,037) concentração de colesterol comparado com amostras normais e com o grau moderado da miopatia (Tabela 5). Não houve diferença significativa (P>0,05), para as concentrações de proteína e matéria mineral e para oxidação lipídica das amostras.

A menor concentração de gordura observada em amostras de frango acometidas com o grau moderado e severo da miopatia peito de madeira pode ter proporcionado a não diferença observada entre as amostras para oxidação lipídica (P>0,05). O aumento da concentração de gordura também aumenta o colesterol presente na carne (Pietruszka *et al.* 2015). No entanto, neste estudo era esperado que, ao diminuir a concentração de gordura, a de colesterol total também diminuísse, mas esta redução não foi observada em amostras acometidas pelo grau moderado. Apesar desses resultados, o nível de colesterol de todas as amostras estão dentro da

normalidade que ficam em torno de 58 a 104 mg/100g, dependendo do tipo de carne de frango utilizada (Bragagnolo, 2001).

Tabela 5. Valores médios e desvio padrão das concentrações de proteína bruta, gordura, umidade e matéria mineral; oxidação lipídica (TBARS) e colesterol da carne de peito de frangos de corte acometidos pela miopatia peito de madeira e armazenados por 30 dias a -20 C.

Variáveis	Normal	Moderado	Severo	P-valor
Proteína (%)	24,64±0,65	23,31±0,45	22,97±0,48	0,1260
Gordura (%)	3,79±0,33 ^a	2,76±0,22 ^b	2,17±0,13 ^c	0,0002
Umidade (%)	73,66±0,24 ^b	74,20±0,15 ^b	76,41±0,20 ^a	<0,0001
Matéria mineral (%)	1,77±0,17	1,74±0,16	1,46±0,15	0,3230
TBARS (mg MDA/kg)	0,613±0,048	0,588±0,029	0,647±0,064	0,6830
Colesterol total (mg/100g)	84,93±1,01 ^{ab}	86,56±1,04 ^a	82,49±1,09 ^b	0,0370

^{a-c}Médias seguidas por letras distintas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Perfil de ácidos graxos

Houve efeito (P<0,05) na concentração total de ácidos graxos saturados (AGS) e nas concentrações dos ácidos heptadecanóico (C17:0), esteárico (C18:0), miristoléico (C14:1), γ linolenico (C18:3n6) e araquidônico (C20:4n6) (Tabela 6).

A carne apresentou grande quantidade de gorduras saturadas, em que amostras de grau severo da miopatia peito de madeira apresentaram maior (P=0,0001) concentração de AGS comparadas às amostras normais e moderadas da miopatia. O grau severo da miopatia peito de madeira apresentou menor (P=0,036) nível de ácido γ -linolênico. O ácido γ -linolênico é um AGPI da família ω 6 fundamental para manter as membranas celulares com funcionamento normal, além de ser importante para a manutenção das funções cerebrais e a transmissão de impulsos nervosos. Há relatos que esse ácido graxo é usado na biossíntese de ácido araquidônico, relação essa que não foi observada em nossa pesquisa, levando em consideração que, dentre as amostras, obtivemos menor concentração de ácido γ -linolênico e maior concentração de ácido araquidônico em amostras acometidas pelo grau severo da miopatia peito de madeira.

Não houve diferenças (P>0,05) entre as amostras de frango normais e aquelas acometidas pela miopatia peito de madeira quanto à quantidade de EPA+DHA e na relação de ω 6/ ω 3. Há de se supor que os ácidos graxos EPA e DHA são importantes porque podem atenuar os efeitos do processo inflamatório a partir da diminuição da síntese dos eicosanoides. Neste estudo, a relação de ω 6/ ω 3 foi de, aproximadamente, 12:1, o que excedeu a recomendação de

6:1 (Wijendran e Hayes 2004), uma vez que os AGPI são importantes para a saúde cardiovascular.

Tabela 6. Composição de ácidos graxos (% do total de ácidos graxos) da gordura da carne de peito de frangos de corte Cobb MX acometidos com miopatia peito de madeira.

Ácidos Graxos	Tratamentos			P-Valor
	Normal	Moderado	Severo	
AGS	32,10±0,10 ^b	32,45±0,34 ^b	33,31±0,18 ^a	0,0001
AGMI	35,91±1,04	35,71±0,89	34,00±0,33	0,087
AGPI	32,00±0,98	31,85±0,73	32,70±0,30	0,490
C12:0	0,03±0,01	0,03±0,01	0,03±0,01	0,970
C14:0	0,46±0,02	0,50±0,01	0,47±0,01	0,136
C15:0	0,077±0,002	0,073±0,002	0,077±0,003	0,499
C16:0	24,02±0,23	24,57±0,22	24,44±0,16	0,227
C17:0	0,117±0,006 ^{ab}	0,105±0,003 ^b	0,123±0,004 ^a	0,013
C18:0	7,32±0,25 ^b	7,09±0,19 ^b	8,08±0,10 ^a	0,0007
C20:0	0,073±0,002	0,073±0,003	0,077±0,002	0,499
C14:1	0,093±0,010 ^{ab}	0,103±0,005 ^a	0,087±0,003 ^b	0,043
C16:1	3,55±0,33	3,77±0,18	3,25±0,10	0,061
C17:1	0,05±0,01	0,05±0,01	0,05±0,01	0,615
C18:1n9c	30,01±0,73	29,57±0,70	28,37±0,30	0,083
C18:1n7	1,94±0,07	1,97±0,08	1,99±0,03	0,855
C20:1n9	0,26±0,01	0,25±0,01	0,26±0,01	0,958
C18:2n6	26,11±0,70	26,19±0,58	26,07±0,11	0,976
C18:2c9,t11	0,062±0,003	0,058±0,001	0,050±0,009	0,08
C20:2	0,45±0,05	0,42±0,05	0,48±0,03	0,501
C18:3n6	0,180±0,003 ^a	0,192±0,014 ^{ab}	0,163±0,006 ^b	0,036
C18:3n3	1,66±0,06	1,71±0,05	1,62±0,03	0,363
C20:3n6	0,38±0,05	0,38±0,04	0,45±0,03	0,380
C20:3n3	0,052±0,006	0,047±0,008	0,048±0,003	0,850
C20:4n6	1,85±0,27 ^{ab}	1,68±0,20 ^b	2,34±0,15 ^a	0,041
C22:4n6 (DTA)	0,58±0,09	0,54±0,05	0,72±0,06	0,067
C20:5n3 (EPA)	0,11±0,01	0,12±0,02	0,13±0,01	0,461
C22:5n3 (DPA)	0,38±0,05	0,35±0,04	0,46±0,03	0,118
C22:6n3 (DHA)	0,19±0,03	0,17±0,02	0,18±0,01	0,844
EPA+DHA	0,30±0,04	0,28±0,04	0,31±0,01	0,819
ω 6	29,10±0,86	28,98±0,65	29,74±0,27	0,488
ω 3	2,39±0,09	2,39±0,06	2,43±0,02	0,709
ω 6/ω 3	12,19±0,15	12,13±0,15	12,22±0,07	0,867

^{a-b}Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha, diferem entre si pelo Teste de Tukey (P<0,05). AGS, Ácidos graxos saturados; AGMI, Ácidos graxos monoinsaturados; AGPI, Ácidos graxos polinsaturados; DTA, Ácido docosatetraenóico; EPA, Ácido eicosapentaenóico; DPA, Ácido docosapentaenóico; DHA, Ácido docosahexaenóico;

Análise histológica

Análise macroscópica

O músculo peitoral de aves acometidas pelo grau moderado e severo da miopatia peito de madeira apresentou coloração geral pálida com regiões enrijecidas irregulares e avermelhadas (presença de petéquias e sufusões) caracterizadas geralmente como lesões superficiais (Figura 2). À semelhança de Sihvo et al. (2014), observamos que a superfície muscular era frequentemente revestida por fina camada de material límpido ou ligeiramente turvo, moderadamente viscoso, além de petéquias dispersas e sufusões, com acúmulo de pequenas hemorragias em alguns pontos.

Observou-se, nos grupos moderado e severo, a presença de estriações brancas paralelas às fibras musculares, sendo que, a sua gravidade era maior quanto mais severa a a miopatia peito de madeira. O aumento de estriações também foi associado à maior gravidade da lesão em músculos peitorais de frangos de corte por Kuttappan et al. (2013).

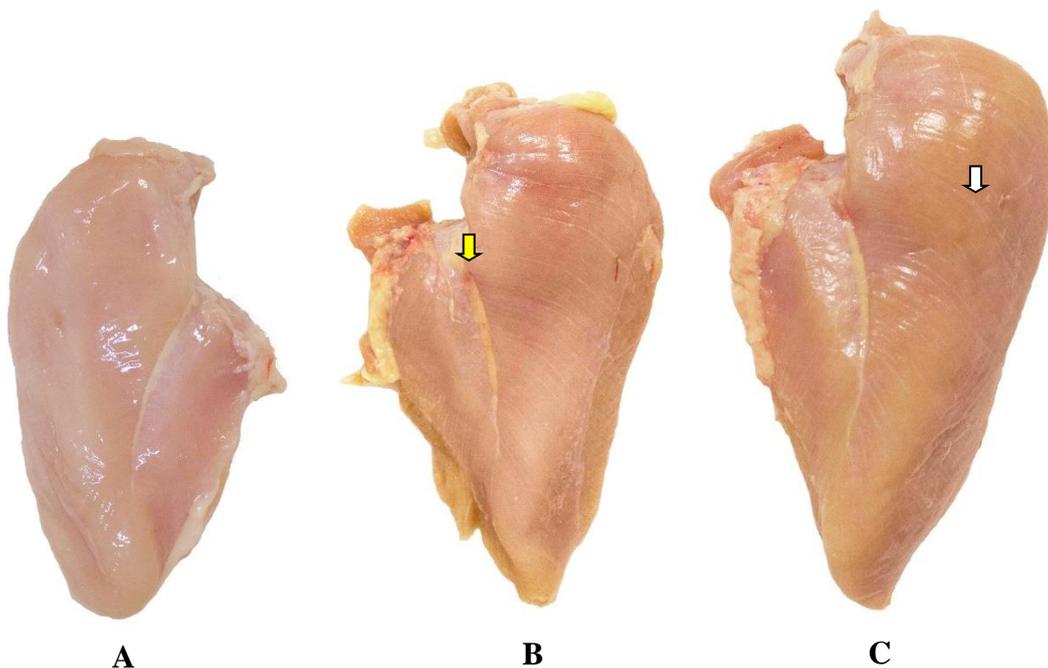


Fig. 2. Músculo peitoral maior normal (A), e acometido pelo grau moderado (B) e severo (C) da miopatia peito de madeira em frango de corte da linhagem Cobb. Observam-se estriações esbranquiçadas no quadrante superior da peça muscular (seta branca) bem como regiões avermelhadas (petéquias) e endurecidas na porção média e inferior do músculo (setas amarelas).

Análise microscópica

Na Figura 3A, 3B e 3C observaram-se fibras musculares esqueléticas de núcleos excêntricos e tecido conjuntivo denso não modelado caracterizado como perimísio que reúne fibras musculares esqueléticas em fascículos.

No grupo de frangos de corte com musculatura peitoral saudável observou-se relativa homogeneidade no tamanho de fibras musculares normocoradas e poligonais. O perimísio apresentou-se mais delgado em relação ao grupo moderado e severo, evidenciando-se a matriz extracelular e fibroblastos, característicos do tecido conjuntivo intersticial ou de preenchimento (Figura 2A).

Tanto o grau moderado, quanto o severo caracterizaram-se pela perda do aspecto poligonal das fibras musculares (Figuras 3B e 3C). As fibras do músculo *Pectoralis major* em frangos de corte acometidos pelo grau moderado do peito de madeira apresentaram heterogeneidade no seu tamanho e aumento da espessura de tecido conjuntivo intersticial com leve aumento na quantidade de adipócitos. Também foram observadas fibras degeneradas, infiltradas por células inflamatórias, principalmente heterófilos e macrófagos. (Figura 2B). De acordo com Sihvo et al. (2014), as fibras musculares degeneradas eram envolvidas por tecido conjuntivo frouxamente organizado e rico em colágeno. A miodegeneração, acompanhada de regeneração, é significativamente associada ao peito de madeira (Sihvo et al., 2016). A expressão de fatores reguladores específicos da transcrição proteica muscular para proliferação e diferenciação das células que promovem a regeneração do músculo em resposta a um dano muscular depende do tipo de linhagem comercial de rápido crescimento. Isto sugere que a etiologia da miopatia peito de madeira pode variar entre linhagens de frangos de corte (Velleman et al. 2015).

O grau severo do peito de madeira apresentou maior discrepância no tamanho das fibras musculares e significativa hipertrofia de algumas fibras. De acordo com MacRae et al. (2006), quando o aumento no tamanho das fibras musculares não for acompanhado de adequado suporte nutricional pode acarretar em estresse metabólico intermediário, devido à dificuldade de difusão de oxigênio no tecido muscular. Observa-se também, (Figura 2C), o perimísio ao lado de infiltrado inflamatório.

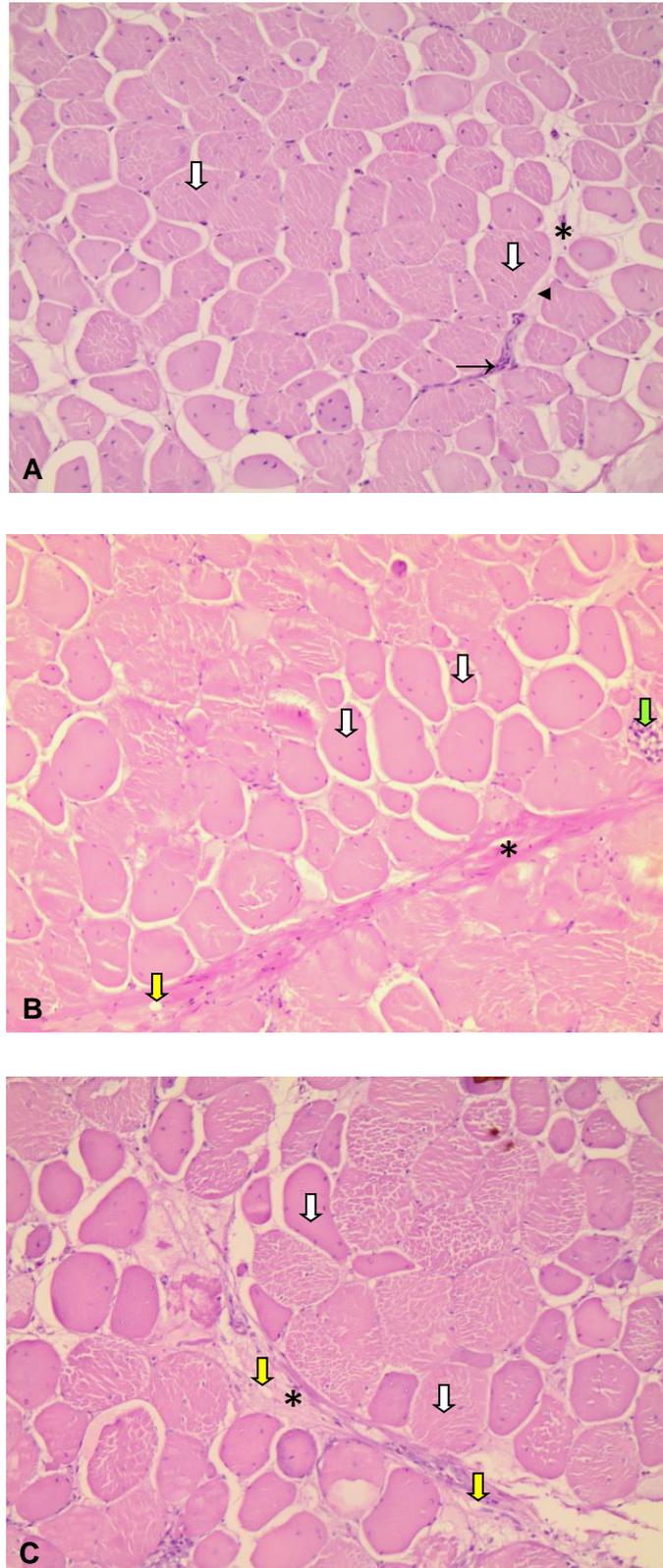


Fig. 3. Fotomicrografias de seções histológicas transversais do músculo *Pectoralis major* de frangos de corte acometidos pelo peito de madeira. A: Normal. Matriz extracelular (cabeça de seta); fibroblastos (seta negra). B: Aspecto moderado do peito de madeira. Fibra muscular degenerada infiltrada por células inflamatórias (seta verde). C: Aspecto severo do peito de madeira. Fibra muscular (seta branca), perimísio (*), adipócitos (setas amarelas). H.E., 200X.

Teste afetivo visual

O teste afetivo visual obteve índice de rejeição superior a 82% para peitos de frango acometidos com a miopatia peito de madeira, devido a motivos de amarelamento (8,67%), anormalidade (1,76%), cor (52,59%), gordura (13,43%), aparência (12,97%), inflamação (2,67%), fibras (2,59%) e aspecto duvidoso (2,59%). Como consequência desses resultados, peito de frango acometido pela miopatia peito de madeira não apresenta padrões sensoriais de comercialização direta, sendo melhor aproveitado para produção de possíveis subprodutos..

Conclusões

Amostras acometidas pela miopatia peito de madeira são maiores e mais pesadas. Amostras de frango acometidas pelo grau severo da miopatia peito de madeira possuem qualidade física inferior comparadas com a carne de frangos normais, o que pode ser prejudicial ao processamento da carne de aves. Além disso, o grau severo da miopatia peito de madeira, possui níveis considerado normais de ácidos graxos, além de possuir maior nível de ácido araquidônico, um importante ácido graxo $\omega 6$ que reduz os níveis de colesterol. Peitos de frango com miopatia tem menor concentração de gordura que peitos normais. A miodegeneração provocada pela miopatia peito de madeira tem a hipertrofia da fibra muscular como mecanismo compensatório nos graus moderado e severo em frangos de corte. A perda do aspecto poligonal, a heterogeneidade da maioria das fibras musculares, aumento de tecido conjuntivo intersticial e o infiltrado inflamatório caracterizam os aspectos histológicos do grau moderado e severo da carne de peito de frangos de corte afetados pelo miopatia peito de madeira. Adicionalmente, no teste afetivo visual do peito de frango in-natura indicaram que o consumidor reprovou os peitos acometidos com a miopatia peito de madeira, independente do grau de acometimento.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, 2017/5754-4) pelo auxílio à pesquisa concedido.

Conflitos de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesse

Referencias

- AOAC (2011) 'Official methods of analysis.' 18th edn. (Association of Analytical Chemists: Washington, DC).
- Baldi G, Soglia F, Laghi L, Tappi S, Rocculi P, Tavaniello S, Prioriello D, Mucci R, Maiorano G, Petracci M (2019) Comparison of quality traits among breast meat affected by current muscle abnormalities. *Food Research International* **115**, 369-376.
- Beauclercq S, Hennequet-Antier C, Praud C, Godet E, Collin A, Tesseraud S, Berri C (2017) Muscle transcriptome analysis reveals molecular pathways and biomarkers involved in extreme ultimate pH and meat defect occurrence in chicken. *Scientific Reports* **7**, 6447.
- Bligh EG, Dyer WJ (1959) A rapid method for total lipid extraction and purification. *Canadian journal of biochemistry and physiology* **37**, 911-917.
- Bragagnolo N. (2001) Aspectos comparativos entre carnes segundo a composição de ácidos graxos e teor de colesterol. 2º Conferência Internacional Virtual sobre Qualidade de Carne Suína. Concórdia, SC, Brasil
- Cheng Q, Sun DW (2008) Factors affecting the water holding capacity of red meat products: a review of recent research advances. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **48**, 137-159.
- Cross HR, West RL, Dutson TR (1981) Comparison of methods for measuring sarcomere length in beef semitendinosus muscle. *Meat Science* **5**, 261–266.
- Culler RD, Parrish FC, Junior, Smith, GC, Cross HR (1978) Relationship of myofibril fragmentation index to certain chemical, physical and sensory characteristics of bovine Longissimus muscle. *Journal of Food Science* **43**, 1177–1180.
- Gornall AG, Bardawill CJ, David MM (1949) Determination of serum protein by means of the biuret reaction. *The Journal of Biological Chemistry* **177**, 751–766.
- Hamm R (1961). Biochemistry of meat hydration. *Advances in Food Research* **10**, 355–463.
- Honikel KO (1987) The water binding of meat. *Fleischwirtsch* **67**, 1098–1102.
- Koohmaraie M, Whipple G, Crouse JD (1990) Acceleration of postmortem tenderization in lamb and Brahman cross beef carcasses through infusion of calcium chloride. *Journal of Animal Science* **68**, 1268–1278.
- Kuttappan VA, Brewer VB, Mauromoustakos A, Mckee SR, Emmert JL, Meullenet JF, Owens CM (2013) Estimation of factors associated with the occurrence of white striping in broiler breast fillets. *Poultry Science*, **92** (3), 811-819.
- Le Bihan-Duval E, Debut M, Berri CM, Sellier N, SanteLhoutellier V, Jego Y, Beaumont C. (2008) Chicken meat quality: genetic variability and relationship with growth and muscle characteristics. *BMC Genetics*, **9**, 53.
- Lyon CE, Lyon BG, Dickens JA (1998) Effects of carcass stimulation, deboning time, and marination on color and texture of broiler breast meat. *Journal of Applied Poultry Research* **7**, 53 –60.
- Macrae VE., Mahon M, Gilpin S, Sandercock DA, Mitchell MA (2006) Skeletal muscle fibre growth and growth associated myopathy in the domestic chicken (*Gallus domesticus*). *British Poultry Science*, **47**, 264-272.
- Mazzoni M, Petracci M, Meluzzi A, Cavani C, Clavenzani P, Sirri F. (2015) Relationship between pectoralis major muscle histology and quality traits of chicken meat. *Poultry Science* **94**(1), 123-130.
- Mello JLM, Souza RA, Paschoalin GC, Ferrari FB, Machado BM, Giampietro-Ganeco A, Souza PA, Borba H (2017). A comparison of the effects of post-mortem aging on breast

- meat from Cobb 500 and Hubbard ISA broilers. *Animal Production Science* **58**(10), A-J.
- Mendes AA, GARCIA EA, GONZALES E (1993) Efeito de linhagem e idade de abate sobre o rendimento de carcaça de frangos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, **22**, 466-472.
- Método de metilação: Iso 5509 (1978) International Organization for Standardization. Iso. Animal and vegetable fats and oils – Preparation of methyl esters of fatty acids. Method Iso 5509, Geneve, 1 – 6.
- Moura JWF, Medeiros FM, Alves MGM, Batista ASM (2015) Fatores influenciadores na qualidade da carne suína. *Revista Científica de Produção Animal* **17**, 18–29.
- Mudalal S, Babini E, Cavani C, Petracci M. (2014) Quantity and functionality of protein fractions in chicken breast fillets affected by white striping. *Poultry Science*, **93**, 2108-2116.
- Mudalal S, Lorenzi M, Soglia F, Cavani C, Petracci M (2015). Implications of white striping and wooden breast abnormalities on quality traits of raw and marinated chicken meat. *Animal* **9** (4), 728–734.
- Mutryn MF, Brannick EM, Fu W, Lee WR, Abasht B (2015) Characterization of a novel chicken muscle disorder through differential gene expression and pathway analysis using RNA sequencing. *BMC Genomics*, **16**, 1-19.
- Pietruszka A, Jacyno E, Kawęcka M, Biel W (2015) The relation between intramuscular fat level in the longissimus muscle and the quality of pig carcasses and meat. *Annals of Animal Science* **15** (4), 1031–1041.
- Pearce KL, Rosenvold K, Andersen HJ, Hopkins DL (2011) Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes – a review. *Meat Science* **89**, 111–124.
- Petracci, M, and Cavani, C (2012) Muscle growth and poultry meat quality issues. *Nutrients*. **4**, 1–12.
- Petracci M, Mudalal S, Soglia F, Cavani C (2015) Meat quality in fast-growing broiler chickens. *World's Poultry Science Journal*, **71**, 363–374.
- Saldanha T, Mazalli MR, Bragagnolo N (2004) Avaliação comparativa entre dois métodos para determinação do colesterol em carnes e leite. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* **24** (1), 109-113.
- Sánchez-Brambila G, Bowker BC, Zhuang H (2016) Comparison of sensory texture attributes of broiler breast fillets with different grades of white striping. *Poultry Science* **95**, 2472–2476.
- Santos CC, Delgado EF, Menten JFM, Pedreira ACM, Castillo CJC, Mourão GB, Brossi C, Silva IJO (2008) Sarcoplasmatic and myofibrillar protein changes caused by acute heat stress in broiler chicken. *Scientia Agricola* **65**(5), 453-458.
- SAS Institute Inc.(2002–2003)‘SAS version 9.4.’ (SAS Institute Inc: Cary, NC).
- Sihvo HK, Immonen K, Puolanne E (2014) Myodegeneration with fibrosis and regeneration in the pectoralis major muscle of broilers. *Veterinary pathology*, **51**, 619-623, 2014.
- Sihvo HK, Lindén J, Airas N, Immonen K, Valaja J, Puolanne E (2016) Wooden Breast myodegeneration of Pectoralis major muscle over the growth period in broilers. *Veterinary Pathology*, **10**, 2016.
- Soglia F, Gao J, Mazzone M, Puolanne E, Cavani C, Petracci M, Ertbjerg P (2017) Superficial and deep changes of histology, texture and particle size distribution in broiler wooden breast muscle during refrigerated storage. *Poultry Science* **96** (9), 3465–3472.

- Soglia F, Laghi L, Canonico L, Cavani C, Petracci M (2016) Functional property issues in broiler breast meat related to emerging muscle abnormalities. *Poultry Science*, **89**, 1071-1076, 2016.
- Soglia F, Mudalal S, Babini E, Di Nunzio M, Mazzoni M, Sirri F, Cavani C, Petracci M (2016) Histology, composition, and quality traits of chicken Pectoralis major muscle affected by wooden breast abnormality. *Poultry Science* **95**, 651–659.
- Tijare VV, Yang FL, Kuttappan VA, Alvarado CZ, Coon CN, Owens CM (2016) Meat quality of broiler breast fillets with white striping and woody breast muscle myopathies. *Poultry Science* **95**, 2167–2173.
- Tolosa EMC, Rodrigues CJ, Behmer OA, Freitas-Neto AG (2003) Manual de técnicas para histologia normal e patológica. 2ª ed. Manole, São Paulo, p.331.
- Trocino A, Piccirillo M, Birolo M, Radaelli D, Bertotto E, Filiou E, Petracci M, Xiccato G (2015) Effect of genotype, gender and feed restriction on growth, meat quality and the occurrence of white striping and wooden breast in broiler chickens. *Poultry Science*, **94**, 2996-3004.
- Velleman SG, e Clark DL (2015) Histopathologic and myogenic gene expression changes associated with wooden breast in broiler breast muscles, *Avian Diseases*, **59**, 410–418.
- Velleman SG, Clark DL, Tonniges JR (2017). Fibrillar collagen organization associated with broiler wooden breast fibrotic myopathy. *Avian Diseases* **61(4)**, 481–490.
- Vyncke W (1970) Direct determination of the thiobarbituric acid value in trichloroacetic acid extracts of fish as a measure of oxidative rancidity. *Fette, Seifen, Anstrichmittel* **72**, 1084–1087.
- Wijendran V, Hayes KC (2004) Dietary n-6 and n-3 fatty acid balance and cardiovascular health. *Annual Review of Nutrition* **24**, 597–615.
- Xing T, Zhao X, Han M, Cai L, Deng S, Zhou G, Xu X (2017) A comparative study of functional properties of normal and wooden breast broiler chicken meat with NaCl addition. *Poultry Science*, **96**,3473–3481.
- Zambonelli P, Zappaterra M, Soglia F, Petracci M, Sirri F, Cavani C, Davoli R. (2017) Detection of differentially expressed genes in broiler pectoralis major muscle affected by White Striping – Wooden Breast myopathies. *Poultry Science* **95**, 2771–2785.
- Zhuang H, Bowker B (2018) The wooden breast condition results in surface discoloration of cooked broiler pectoralis major. *Poultry Science* **97**, 4458–4461.

CAPÍTULO 3

Este capítulo foi redigido segundo as normas editoriais do periódico "Poultry Science".

Capítulo 3 - Efeito da maturação sobre as características da carne de peito de frangos de corte acometidos pela miopatia Peito de Madeira

Título curto

Uso da maturação em peito de frangos acometidos pela miopatia Peito de Madeira

Rodrigo Fortunato de Oliveira^{AC}, Juliana Lolli Malagoli de Mello^A, Fábio Borba Ferrari^A, Rodrigo Alves de Souza^{AB}, Mateus Roberto Pereira^A, Erika Nayara Freire Cavalcanti^A, Erick Alonso Villegas-Cayllahua^A, Heloisa de Almeida Fidelis^A, Aline Giampietro-Ganeco^A, Maísa Santos Fávero^A, Pedro Alves de Souza^A e Hirasilva Borba^A

^AUniversidade Estadual Paulista – UNESP, Departamento de Tecnologia, via de acesso Professor Donato Castellane, s/n, Zona Rural, 14884-900, Jaboticabal, São Paulo, Brasil.

^BUniversidade de São Paulo – USP, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Avenida Duque de Caxias Norte, nº 225, 13635-900, Pirassununga, São Paulo, Brasil.

^CAutor correspondente. Email: fortunatorodrigo@ymail.com

Resumo: A maturação é um procedimento tecnológico utilizado para promover o aumento da maciez da carne. É uma alternativa viável para melhorar a comercialização de carne menos macia. Este estudo objetivou avaliar possíveis efeitos da maturação por até sete dias sobre a qualidade da carne de peito de frangos de corte acometidos pelos diferentes graus de severidade da miopatia peito de madeira. Foram utilizadas amostras de peito de frangos de corte machos da linhagem Cobb MX abatidos com 45 dias de idade. Amostras normais (ausência de miopatia; grupo controle), de grau moderado (dureza apenas em uma região do filé de peito) e de grau severo (dureza em toda a extensão do filé de peito) foram avaliadas *in natura* (sem maturação) (n=20 para cada tipo de amostra; n=60) e após três (n=60) e sete dias (n=60) de maturação ($2^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$), totalizando 180 amostras avaliadas. Foram realizadas análises físicas (pH, cor, capacidade de retenção de água, perda de peso por cozimento, força de cisalhamento, perda de peso por armazenamento e volume de exsudato) e químicas (composição química, proteína solúvel no exsudato, oxidação lipídica, colesterol total, colágeno, índice de fragmentação miofibrilar, comprimento de sarcômero e perfil de ácidos graxos) em todas as amostras. Amostras consideradas normais e com grau moderado da miopatia apresentaram maior capacidade de retenção de água ($P=0,0002$) o que pode, possivelmente, reduzir perdas nutricionais durante o armazenamento e ser benéfico para a indústria de processamento de carne de frango. Durante a maturação foi verificado aumento ($P=0,046$) da concentração de colágeno total (de 0,41% em amostras normais para 0,56% em amostras com grau severo). Amostras de peito de frango acometidas pelo grau moderado apresentaram maior ($P<0,001$) índice de fragmentação miofibrilar (IFM = 115) e menor ($P=0,023$) concentração de gordura (2,61%) do que amostras de frango normais (95,65 e 3,36%, respectivamente). A carne de peito acometida pelo grau moderado apresentou maior ($P=0,05$) concentração do ácido graxo α -linolênico (1,65 %) quando comparada à carne de peito normal (1,54 %), o que pode ser benéfico à saúde humana. Embora amostras de frango acometidos com o grau severo da miopatia peito de madeira sejam mais macias que os peitos de frango normais, elas produzem mais exsudato, o que pode ser prejudicial ao processamento da carne de aves. O processo de maturação pode reduzir a perda de peso por cozimento e a perda de proteína na exsudação em peitos de frangos acometidos com miopatia peito de madeira.

Palavras-chave: doença muscular, PUFA, qualidade da carne

Introdução

Nos últimos 25 anos, entre todos os produtos de origem animal, o mercado da carne de frango apresentou a taxa de crescimento mais perceptível comparado as outras carnes e isso pode ser atribuído à saúde, à ausência de limitações culturais e religiosas ao seu consumo, à eficiência da produção e ao crescimento da população humana (Windhorst, 2017; Tallentire *et al.* 2018).

Os avanços genéticos para crescimento e rendimento da carne de frango têm resultado em alterações musculares que são o objetivo das pesquisas atuais, dentre elas a miopatia peito de madeira, anormalidade muscular emergente em filés de peito de frango, que confere a aparência desagradável à carne. A carne de peito acometida por essa miopatia é caracterizada por dureza palpável, rigidez muscular total ou parcial e mudanças significativas nas características de qualidade em comparação aos filés considerados normais (Tijare *et al.* 2016). Além disso, os filés afetados por esta miopatia frequentemente exibem aumento de estrias brancas em sua superfície, fluido superficial gelatinoso-viscoso e lesões hemorrágicas petequiais (Dalle Zotte *et al.* 2017; Kuttappan *et al.* 2017). A incidência desta miopatia tem sido relatada em diferentes países como Brasil, Itália, Finlândia, Estados Unidos e Reino Unido (Ferreira *et al.* 2014; de Brot *et al.* 2016).

A miopatia peito de madeira prejudica a qualidade e a aparência do filé de peito, em que filés afetados pelo grau severo podem ser rejeitados na fase de inspeção ainda no abatedouro ou, mais tarde, durante o processamento. Como os filés de peito constituem a parte de maior valor agregado da carcaça de frangos de corte, sua rejeição para consumo humano causa significativas perdas econômicas. Outras preocupações incluem a redução potencial no bem-estar animal das aves afetadas e as questões éticas relacionadas à condenação de quantidades consideráveis de carne de frango.

Por se tratar de alteração muscular que resulta em carne de peito bastante endurecida, uma alternativa viável para a comercialização deste tipo de carne seria o uso de técnicas de amaciamento como a maturação que possam melhorar sua qualidade, embora esta não seja uma prática comum na indústria avícola.

Diante do exposto, esse estudo teve como objetivo avaliar os possíveis efeitos da maturação por até sete dias sobre a qualidade da carne de peito de frangos de corte acometidos pelos diferentes graus de severidade da miopatia peito de madeira.

Material e Métodos

Coleta de amostras e procedimento experimental

Foram utilizadas 180 amostras de carne de peito de frangos de corte machos, da linhagem Cobb MX, criados em sistema intensivo tradicional e abatidos aos 45 dias de idade. As amostras foram adquiridas em abatedouro comercial (São Paulo, SP, Brasil) inspecionado pelo Serviço de Inspeção Federal. As aves foram abatidas de acordo com a rotina do abatedouro com desossa mecânica do peito, e transportadas para o laboratório da universidade sob condições de refrigeração ($\pm 4^{\circ}\text{C}$) durante o período de duas horas para posteriores análises de qualidade. As amostras, sem osso e sem pele, foram classificadas por meio de palpação de acordo com o grau de severidade da miopatia (moderado (n=60) - dureza verificada apenas na região cranial ou na região caudal do filé de peito; severo (n=60) - dureza verificada em toda a extensão do filé de peito). Foram coletadas também 60 amostras de filé de peito classificadas como normais (ausência de miopatia), as quais foram utilizadas como grupo controle para comparação com as amostras afetadas.

Após o estabelecimento do *rigor mortis* (4 horas pós abate), as amostras coletadas foram identificadas, pesadas individualmente, embaladas a vácuo (Selovac 200-B, São Paulo, SP, Brasil) em sacos plásticos (18 μ) e maturadas em uma incubadora BOD (Eletrolab EL101/3 250W, Eletrolab) a $2^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ por três e sete dias. Análises físicas descritas a seguir foram realizadas em amostras não maturadas (no dia da coleta; n=60), após três (n=20 para cada grau de severidade e grupo controle; total n=60) e sete dias (n=20 para cada grau de severidade e grupo controle; total n=60) de maturação. Para as análises químicas, sub-amostras dos grupos estudados foram preparadas em cada período de amostragem (início – sem maturação, após três e sete dias de maturação) e congeladas (-20°C) por um período de 30 dias para posteriores análises.

Métodos

A coloração (luminosidade - L^* ; intensidade de vermelho - a^* e intensidade de amarelo - b^*) foi determinada imediatamente após a desossa (em amostras não maturadas) usando um colorímetro Minolta CR-400 (Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japão) (configurações: iluminação difusa/0 ângulo de visão, iluminante D65, componente especular incluído) calibrado para um padrão branco. O equipamento foi posicionado em três locais diferentes da

superfície externa do músculo *Pectoralis major* (a qual estava anteriormente em contato com a pele) e também em três locais diferentes da superfície interna do músculo (a qual estava em contato com o osso esterno). Após três e sete dias de maturação, para a realização das análises laboratoriais das amostras do grupo controle e dos grupos acometidos pelos graus moderado e severo da miopatia foram removidas da incubadora BOD e, após a abertura das embalagens, foram expostas ao oxigênio durante 30 minutos para oxigenação da mioglobina (Ledward 1992).

O pH da carne foi avaliado em triplicata usando um peagâmetro digital (Testo 205, Testo Inc., Sparta, NJ, EUA) munido de eletrodo de penetração, o qual foi inserido na parte cranial de cada amostra. A capacidade de retenção de água (CRA) foi determinada em triplicata conforme descrito por Hamm (1961).

As amostras foram cozidas para avaliação das perdas de peso durante o cozimento (PPC), segundo o método descrito por Honikel (1987), e os resultados foram obtidos por diferença entre os pesos inicial e final, expressos em porcentagem. A força de cisalhamento foi avaliada utilizando o método Meullenet-Owens Razor Shear (MORS) nas amostras cozidas. A força de cisalhamento também foi avaliada utilizando o dispositivo Warner-Bratzler acoplado ao texturômetro Texture Analyser TA-XT2i. De cada amostra cozida foram obtidas três sub-amostras com área de secção de 1 cm², as quais foram colocadas com as fibras orientadas no sentido perpendicular ao do dispositivo Warner-Bratzler, e submetidas ao corte Lyon *et al.* (1998). A força necessária para cisalhar as amostras foi expressa em Newton.

A perda de peso na maturação foi definida como a diferença entre o peso inicial e final de cada amostra, antes e após a maturação, expressa em porcentagem. O volume do exsudato foi medido com proveta graduada após a abertura das embalagens. A proteína solúvel no exsudato foi avaliada como descrito por Hartree (1972).

A composição química foi determinada em amostra não maturadas e nas maturadas por três e sete dias, após a realização das análises físicas. Foram liofilizadas (SuperModulyo220, Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, USA) e moídas para posterior determinação das concentrações de proteína e de matéria mineral segundo preconizado pela AOAC (2011), métodos 977.14 e 920.153, respectivamente. O percentual de umidade foi determinado por diferença entre os pesos das amostras antes e após a liofilização (AOAC 2011; método 950.46). A gordura foi determinada de acordo com o método proposto por Bligh e Dyer (1959).

A oxidação lipídica foi determinada em amostras não maturadas e nas maturadas três e sete dias utilizando o teste de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARs), segundo a metodologia descrita por Vyncke (1970). O colesterol foi determinado após realizarmos uma adaptação do método descrito por Saldanha *et al.* (2004). Foi pesado 0,5 g de amostra liofilizada em tubo falcon de 50 mL, à qual foram adicionados 6 mL de etanol e 4 mL de KOH 50%. Os tubos foram mantidos em banho-maria com agitação (40 °C) até que as amostras estivessem totalmente dissolvidas e, posteriormente, por mais 10 minutos (60 °C). Por três vezes foram adicionadas 10 mL de N-hexano para a separação de fases e foi retirada a fase superior da amostra para outro tubo. Da fase superior, foram pipetadas alíquotas de 3 mL para tubos de ensaio e foi realizada a secagem com gás nitrogênio. Após secagem, em cada tubo foi adicionado 0,5 mL de álcool isopropílico, foram agitados em vórtex e foram adicionados 3 mL de reagente enzimático para análise de colesterol em sangue. Os tubos foram mantidos em banho-maria (37 °C) por 10 minutos. Foi realizada leitura das amostras em espectrofotômetro (Shimadzu UV-1800, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan) com λ igual a 500 nm.

Os ácidos graxos foram isolados de acordo com o método proposto por Bligh e Dyer (1959), que remove a fase lipídica da amostra. A esterificação dos ácidos graxos foi realizada pelo método de metilação (ISO 5509, 1978) e analisada por cromatógrafo gasoso (Shimadzu 14 B, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão) equipado com detector de ionização de chama e coluna capilar de sílica fundida (Omegawax 250); H₂ foi usado como gás de transporte. Os picos foram identificados por comparação com os tempos de retenção de padrões com composição conhecida.

As concentrações de colágeno total, solúvel e insolúvel foram quantificadas em amostras não maturadas e maturadas por três e sete dias pela determinação do aminoácido hidroxiprolina conforme procedimentos preconizados pela Association of Official Analytical Chemists, método 990.26 (AOAC 2011). O IFM foi determinado como descrito por Culler *et al.* (1978), utilizando o método do Biureto (Gornall *et al.* 1949) para determinação da concentração de proteínas na suspensão de miofibrilas. O IFM foi calculado de acordo com a seguinte fórmula: IFM= densidade óptica x 200. O comprimento de sarcômero foi determinado como descrito por Cross *et al.* (1981). De cada amostra descongelada, obtivemos sub-amostras de 0,5 g que foram retiradas com um bisturi e colocadas em tubo falcon de 50 mL, em seguida, foram adicionados 15 mL de Iodeto de potássio (13,28g/1L de água destilada) e 15 mL de Cloreto de potássio (5,96 g/1 L de água destilada). Posteriormente as amostras foram

homogeneizadas em Ultra-turrax a 15.000 G durante 30 segundos. As lâminas eram feitas com uma gota do homogenato em lâmina de microscópio e coberta com lamínula logo em seguida. As leituras foram realizadas em microscópio com contraste de fase em ampliação 1000x (objetiva de 100x, ocular 10x), aplicando-se uma gota de óleo de imersão sobre a lamínula. O comprimento de sarcômero foi determinado pelo microscópio (Novel BM2100) expresso em micrômetros.

Análise estatística

Os dados obtidos nas análises físico-químicas foram analisados utilizando um delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 3x3 (três graus de severidade da miopatia e três períodos de maturação) com 20 repetições. Os resultados foram analisados pelo procedimento General Linear Models do Statistical Analysis System (SAS Institute Inc. 2002–2003). Todos os dados foram testados por análise de variância e comparados pelo teste de Tukey a um nível de significância de 5%.

Resultados e discussão

Cor e pH da carne

A carne acometida pelo grau severo da miopatia peito de madeira apresentou maior ($P < 0,0001$) luminosidade (L^*) ($63,55 \pm 0,53$) na superfície externa do que amostras classificadas como normais ($59,78 \pm 0,59$) ou com o grau moderado ($60,46 \pm 0,52$) da miopatia. Independentemente do acometimento pela miopatia, o valor de L^* na superfície externa diminuiu ($P = 0,021$) de $62,09 \pm 0,52$ para $60,01 \pm 0,56$ após três dias de maturação. Houve interação significativa entre grau de severidade e período de maturação para as variáveis intensidade de vermelho (a^*) (analisada nas superfícies interna e externa amostras) e intensidade de amarelo (b^*) (analisada na superfície externa das amostras) (Tabela 1).

Tabela 1. Valores médios da intensidade de vermelho (a*) e de amarelo (b*) da carne de peito de frangos de corte acometidos pela miopatia peito de madeira maturada por até sete dias.

a* superfície interna					
GS (n=20)	Período de maturação (M) (n=20)				P-valor
	Início	3 dias	7 dias		
Normal	0,77 ± 0,23 ^b	2,46 ± 0,26 ^{Aa}	2,82 ± 0,26 ^{Aa}	(GS)	0,0003
Moderado	0,94 ± 0,22 ^b	1,14 ± 0,22 ^{Bb}	1,93 ± 0,22 ^{Ba}	(M)	<0,0001
Severo	0,56 ± 0,26 ^b	1,53 ± 0,22 ^{Ba}	1,61 ± 0,22 ^{Ba}	(GS X M)	0,0170

b* superfície interna					
GS (n=20)	Período de maturação (M) (n=20)				P-valor
	Início	3 dias	7 dias		
Normal	2,76 ± 0,37 ^{Bab}	2,22 ± 0,45 ^{Ab}	3,60 ± 0,48 ^{Aa}	(GS)	0,0002
Moderado	2,95 ± 0,37 ^{Ba}	2,85 ± 0,37 ^{Aa}	3,81 ± 0,37 ^{Aa}	(M)	0,0018
Severo	5,55 ± 0,39 ^{Aa}	3,12 ± 0,39 ^{Ab}	4,04 ± 0,37 ^{Ab}	(GS X M)	0,0078

a* superfície externa					
GS (n=20)	Período de maturação (M) (n=20)				P-valor
	Início	3 dias	7 dias		
Normal	0,64 ± 0,24 ^{Ab}	1,93 ± 0,27 ^{Aa}	2,24 ± 0,27 ^{Aa}	(GS)	0,6380
Moderado	1,18 ± 0,23 ^{Ab}	1,13 ± 0,23 ^{Ab}	1,95 ± 0,23 ^{Aa}	(M)	<0,0001
Severo	0,92 ± 0,23 ^{Ab}	1,75 ± 0,23 ^{Aa}	1,67 ± 0,23 ^{Aa}	(GS X M)	0,0370

Médias seguidas por letras distintas nas colunas (maiúsculas) e nas linhas (minúsculas), são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (P<0,05). GS – grau de severidade; M – maturação; GSXM – interação.

Amostras acometidas pela miopatia peito de madeira maturadas por três e sete dias apresentaram redução (P=0,0003) do valor de a* na superfície interna dos filés. Durante a maturação, tanto amostras normais como as acometidas pela miopatia apresentaram aumento (P<0,0001) do valor de a* da superfície interna dos filés. Com relação à intensidade de amarelo, amostras não maturadas (0) e acometidas pelo grau severo da miopatia apresentaram maior valor de b* (5,55) do que as amostras normais (2,76) ou as acometidas pelo grau moderado (2,95) de peito de madeira. Após três e sete dias de maturação não houve variação do valor de b* entre as amostras afetadas pelos diferentes graus de severidade da miopatia. Considerando cada grau de severidade durante o processo de maturação, amostras normais apresentaram aumento da intensidade de amarelo de 2,22 para 3,60; o valor de b* de amostras de grau moderado não foi influenciado pela maturação; e amostras acometidas pelo grau severo da miopatia apresentaram redução da intensidade de amarelo de 5,55 para 3,12. Quanto à intensidade de vermelho da superfície externa das amostras, aquela que estava anteriormente em contato com a pele do peito, ao longo do processo de maturação foi observado aumento (P<0,0001) do valor de a* em filés de todos os tratamentos estudados.

Os maiores valores de luminosidade e intensidade de amarelo encontrados em amostras acometidas pela miopatia peito de madeira podem ser explicados, respectivamente, por modificações no tecido muscular após degeneração histológica nos músculos afetados e pelo aumento da quantidade de gordura encontrada nos filés (Mudalal *et al.* 2015; Sánchez-Brambila *et al.* 2016; Baldi *et al.* 2019). Provavelmente a temperatura de armazenamento da carne ($\pm 2^{\circ}\text{C}$) fez com que não ocorresse um aumento brusco do valor de a^* na superfície interna em peito de frango afetado pela miopatia, quando comparado à carne de frangos normais. Durante a maturação, um aumento da concentração de radicais livres pode promover a oxidação das moléculas de mioglobina, reduzindo a intensidade de vermelho (Monahan *et al.* 2005), no entanto, a coloração vermelha da carne de peito de frango, independente da miopatia, aumentou com a maturação.

A carne de frango acometida pela miopatia, independentemente do grau de severidade, apresentou maior ($P < 0,0001$) pH ($6,20 \pm 0,02$) do que a carne de frangos classificados como normais ($6,03 \pm 0,02$). Houve efeito ($P = 0,002$) da maturação sobre o pH da carne de peito, independente da presença da miopatia, que reduziu seu valor de $6,14 \pm 0,02$ (início da maturação) para $6,04 \pm 0,02$ (após sete dias de maturação). O acometimento pela miopatia peito de madeira teve efeito significativo sobre o valor de pH da carne de peito de frango sendo que os valores foram mais altos quando comparados com os valores encontrados em carne de aves consideradas normais (Zhuang e Bowker 2018; Baldi *et al.* 2019). Em detalhe, o pH final mais elevado encontrado em filés com a miopatia peito de madeira é, provavelmente, devido à diminuição do potencial glicolítico, do estado energético e de alterações nas vias metabólicas (Zambonelli *et al.* 2017; Beauclercq *et al.* 2017).

Capacidade de retenção de água, perda de peso por cozimento e força de cisalhamento

Não houve interação significativa entre grau de severidade da miopatia e período de maturação para as variáveis capacidade de retenção de água e força de cisalhamento utilizando os métodos Warner-Bratzler e MORS (Tabela 2), no entanto, foi verificada interação ($P < 0,05$) entre os fatores para a variável perda de peso por cozimento.

Tabela 2. Valores médios de capacidade de retenção de água (CRA), força de cisalhamento utilizando os métodos Warner-Bratzler (WB) e MORS e perda de peso por cozimento (PPC) da carne de peito de frangos de corte acometidos pela miopatia peito de madeira maturada por até sete dias.

		WB (N)	MORS (N)	
	CRA (%)	(Amostra cozida)		
	Grau de severidade (GS)			
Normal	72,80±0,60 ^A	23,43±1,31 ^A	9,15±0,20 ^A	
Moderado	72,22±0,60 ^A	25,45±1,31 ^A	8,52±0,20 ^B	
Severo	69,25±0,62 ^B	18,41±1,31 ^B	8,46±0,20 ^B	
	Período de Maturação (M)			
Início	70,97±0,61 ^B	32,01±1,31 ^A	9,89±0,20 ^A	
3 dias	73,47±0,61 ^A	17,17±1,31 ^B	8,62±0,20 ^B	
7 dias	69,83±0,60 ^B	18,11±1,31 ^B	7,63±0,20 ^C	
	P-valor			
(GS)	0,0002	0,0010	0,0270	
(M)	0,0002	<0,0001	<0,0001	
(GS x M)	0,9890	0,2720	0,5260	
	PPC (%)			
	Período de maturação (M) (n=20)			
GS (n=20)	Início	3 dias	7 dias	P-valor
Normal	22,54±0,78 ^{Bc}	29,21±0,78 ^{Ba}	25,82±0,78 ^{Ab}	(GS) <0,0001
Moderado	25,89±0,82 ^{Ab}	30,08±0,78 ^{Ba}	19,52±0,78 ^{Bc}	(M) <0,0001
Severo	25,86±0,82 ^{Ab}	35,42±0,93 ^{Aa}	23,92±0,87 ^{Ab}	(GS X M) <0,0001

Médias seguidas por letras distintas nas colunas (maiúsculas) e nas linhas (minúsculas), são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (P<0,05). GS – grau de severidade; M – maturação; GSXM – interação.

Amostras provenientes de frangos normais apresentaram maior capacidade de retenção de água e menor perda de peso por cozimento do que a carne de frangos acometidos pelo grau severo da miopatia. No entanto, amostras normais apresentaram maior força de cisalhamento utilizando tanto o método Warner-Bratzler quanto o método MORS para análise, quando comparadas às amostras acometidas pelo grau severo da miopatia. Foi observado aumento da capacidade de retenção de água após três dias de maturação e redução da perda de peso por cozimento em amostras dos graus moderado e severo (aos sete dias de maturação) da miopatia. Durante o processo de maturação, houve redução da força de cisalhamento e, conseqüentemente, aumento da maciez.

A carne afetada pela miopatia peito de madeira apresenta propriedades tecnológicas inferiores às da carne normal tais como capacidade de retenção de água reduzida alterações de textura (Mazzoni *et al.* 2015) que alteram não apenas o processamento, mas a qualidade final da carne como um todo (Mudalal *et al.* 2015). Segundo os mesmos autores, o fator principal que contribui para a redução da qualidade da carne é a diminuição da capacidade de retenção de água, o que poderia estar associado à dureza característica dos cortes in-natura com esta miopatia, mas que não foi observado em amostras cozidas neste estudo. O aumento na capacidade de retenção de água pode resultar do aumento do pH e da degradação enzimática da estrutura miofibrilar (Pearce *et al.* 2011; Li *et al.* 2014). Este efeito não foi dependente do pH, pois as amostras com a miopatia apresentaram maior pH comparados as amostras de frango normais. Além disso, após 3 dias de maturação o aumento da capacidade de retenção de água pode ter influenciado na redução da luminosidade de amostras de frango com 3 dias de maturação. As perdas decorrentes do cozimento, que resultam em carnes menos suculentas e menos macias (Moura *et al.* 2015), foram menores em amostras de frango normais.

Perda de peso no armazenamento, volume de exsudato e proteína solúvel no exsudato

As amostras afetadas pela miopatia peito de madeira apresentaram maior ($P < 0,05$) perda de peso e exsudação (Tabela 3) devido a sua menor capacidade de retenção de água (Tabela 2). A perda de peso no armazenamento de amostras aumentou de 3,15% (amostras normais) para 3,89 e 3,72% nas amostras acometidas pela miopatia moderada e severa, respectivamente, em paralelo com o aumento do volume de exsudato de 0,016 (amostras normais) para 0,025 e 0,022 mL/g, nas amostras acometidas pela miopatia moderada e severa, respectivamente. Houve interação significativa entre grau de severidade da miopatia peito de madeira e período de maturação para a variável proteína solúvel no exsudato (Tabela 3). Houve diminuição da concentração de proteína solúvel no exsudato aos sete dias de maturação em amostras acometidas pelo grau severo da miopatia peito de madeira, redução essa que foi demonstrada na composição química de amostras de peito amadeirado após sete dias de maturação (Tabela 5).

Tabela 3. Valores médios da perda de peso na maturação (PPM), do volume de exsudato e da proteína solúvel no exsudato de peito de frangos de corte acometidos pela miopatia peito de madeira maturada por até sete dias.

	PPM (%)	Volume de exsudato (ml/g)		
Grau de severidade (GS)				
Normal	3,15±0,18 ^B	0,016±0,001 ^B		
Moderado	3,89±0,16 ^A	0,025±0,001 ^A		
Severo	3,72±0,16 ^A	0,022±0,001 ^A		
Período de Maturação (M)				
3 dias	2,85±0,14 ^B	0,015±0,001 ^B		
7 dias	4,33±0,14 ^A	0,027±0,001 ^A		
P-valor				
(GS)	0,0080	<0,0001		
(M)	<0,0001	<0,0001		
(GS x M)	0,3000	0,2410		
Proteína solúvel no exsudato (mg/ml)				
Período de maturação (M) (n=20)		P-valor		
GS (n=20)	Início	3 dias	7 dias	
Normal	-	0,115±0,002 ^{Aa}	0,120±0,002 ^{Aa}	(GS)
Moderado	-	0,118±0,002 ^{Aa}	0,120±0,002 ^{Aa}	(M)
Severo	-	0,120±0,002 ^{Aa}	0,111±0,002 ^{Bb}	(GS X M)

Médias seguidas por letras distintas nas colunas (maiúsculas) e nas linhas (minúsculas), são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (P<0,05). GS – grau de severidade; M – maturação; GSXM – interação.

Colágeno, índice de fragmentação miofibrilar e comprimento de sarcômero

A maturação aumentou o índice de fragmentação miofibrilar (IFM) das amostras (Tabela 4), e o grau moderado da miopatia peito de madeira apresentou maior índice de fragmentação miofibrilar, seguido das amostras de frango normais e o grau severo. Foi observado por Watanabe et al. (1996) que o índice de fragmentação miofibrilar aumenta continuamente com a maturação da carne de animais ruminantes e que existe uma relação direta do IFM com a maciez, sendo que, valores maiores de IFM se correlacionam com menor força de cisalhamento e maior maciez (Culler *et al.* 1978 e Koohmaraie *et al.* 1990). Não existem padrões estabelecidos para índice de fragmentação miofibrilar em carne de frango, devido a poucos trabalhos existentes na literatura a respeito da avaliação do IFM em carne de peito de frangos de corte (Mello *et al.* 2017).

Tabela 4. Valores médios do índice de fragmentação miofibrilar (IFM), colágeno solúvel, insolúvel e total e comprimento de sarcômero de peito de frangos de corte acometidos pela miopatia peito de madeira maturada por até sete dias.

		IFM		Colágeno solúvel (%)	
Grau de severidade (GS)					
Normal		95,65±2,85 ^B		0,15±0,01 ^B	
Moderado		115,00±2,96 ^A		0,20±0,01 ^A	
Severo		72,81±2,85 ^C		0,19±0,01 ^A	
Período de Maturação (M)					
Início		79,32±2,85 ^B		0,16±0,01 ^B	
3 dias		99,79±2,90 ^A		0,17±0,01 ^{AB}	
7 dias		104,35±2,90 ^A		0,20±0,01 ^A	
P-valor					
(GS)		<0,0001		0,0082	
(M)		<0,0001		0,0383	
(GS x M)		0,1911		0,3790	
Colágeno insolúvel (%)					
Período de maturação (M) (n=20)					P-valor
GS (n=20)	Início	3 dias	7 dias		
Normal	0,16 ± 0,02 ^{Ba}	0,22 ± 0,02 ^{Ba}	0,18 ± 0,02 ^{Ba}	(GS)	<0,0001
Moderado	0,26 ± 0,02 ^{Aa}	0,20 ± 0,02 ^{Ba}	0,22 ± 0,02 ^{Ba}	(M)	0,2823
Severo	0,24 ± 0,02 ^{Aa}	0,31 ± 0,02 ^{Aa}	0,36 ± 0,02 ^{Aa}	(GS X M)	0,0034
Colágeno total (%)					
Período de maturação (M) (n=20)					P-valor
GS (n=20)	Início	3 dias	7 dias		
Normal	0,29 ± 0,04 ^{Bb}	0,46 ± 0,04 ^{Aa}	0,33 ± 0,04 ^{Cb}	(GS)	0,0014
Moderado	0,43 ± 0,04 ^{Aa}	0,37 ± 0,04 ^{Aa}	0,45 ± 0,04 ^{Ba}	(M)	0,0463
Severo	0,41 ± 0,04 ^{Ab}	0,46 ± 0,04 ^{Aab}	0,56 ± 0,04 ^{Aa}	(GS X M)	0,0052
Comprimento de sarcômero (µm)					
Período de maturação (M) (n=20)					P-valor
GS (n=20)	Início	3 dias	7 dias		
Normal	1,49 ± 0,02 ^{Bc}	1,58 ± 0,02 ^{ABa}	1,53 ± 0,02 ^{Bb}	(GS)	<0,0001
Moderado	1,49 ± 0,02 ^{Ba}	1,55 ± 0,02 ^{Ba}	1,57 ± 0,02 ^{Ba}	(M)	0,0560
Severo	1,68 ± 0,02 ^{Aa}	1,63 ± 0,02 ^{Ab}	1,64 ± 0,02 ^{Aab}	(GS X M)	0,0003

Médias seguidas por letras distintas nas colunas (maiúsculas) e nas linhas (minúsculas), são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (P<0,05). GS – grau de severidade; M – maturação; GSXM – interação.

Durante o processo de maturação, houve aumento do conteúdo de colágeno solúvel (Tabela 4). A maturação não afetou o conteúdo de colágeno insolúvel, mas afetou o conteúdo de colágeno total em amostras de frango acometidos com o grau severo da miopatia peito de madeira. Com relação ao colágeno total, os resultados indicaram que amostras de peito

acometidas pela miopatia, maturadas (moderado: 0,45% e severo: 0,56%) ou não (moderado: 0,43% e severo: 0,41%), apresentaram maior concentração quando comparados as amostras normais (início: 0,29% e maturado: 0,33%), o que pode causar aumento na rigidez dos tecidos, reduzindo a qualidade da carne. O aumento da rigidez do músculo afetado por peito de madeira está associado não apenas ao aumento da concentração de colágeno, mas também às características estruturais e de extensão do tecido conjuntivo fibroso, diâmetro da fibrila, reticulação, densidade da fibrila e outras características estruturais (Velleman *et al.* 2017).

De fato, embora um conteúdo maior de colágeno solúvel, insolúvel e total tenha sido encontrado na miopatia peito de madeira (Tabelas 4), amostras cozidas de frangos acometidas pela miopatia apresentaram menor força de cisalhamento (Tabela 2) e, conseqüentemente, maior maciez, quando comparadas ao peito de frango considerado normal, possivelmente, devido à desnaturação e solubilização das ligações cruzadas de colágeno que ocorrem em temperatura entre 53°C e 63°C (Soglia *et al.*, 2017).

Foi observado aumento do comprimento de sarcômero durante o processo de maturação em amostras de frango normais e redução em amostras acometidas pelo grau severo da miopatia peito de madeira, sendo que, o grau severo, com ou sem maturação, apresentou maior comprimento de sarcômero comparado as amostras de frango normal e de grau moderado da miopatia. Esse maior comprimento é explicado pela hipertrofia muscular apresentada em amostras acometidas pelo grau severo da miopatia peito de madeira, promovendo o alongamento do sarcômero. Os resultados de força de cisalhamento (WB e MORS) diminuíram durante a maturação e também com o grau de severidade da amostra (Tabela 2), indicando que as amostras cozidas afetadas com peito de madeira são mais macias do que as amostras normais, confirmando também a relação do IFM e comprimento de sarcômero com a força de cisalhamento (maciez). Acredita-se que haja relação direta entre o comprimento de sarcômero e a maciez da carne, em que, quanto maior o comprimento de sarcômero maior a sua maciez da carne (Cheng e Sun 2008; Pearce *et al.* 2011).

Composição química, oxidação lipídica e colesterol

Houve redução ($P < 0,0001$) da concentração de cinzas de 1,59% (amostras normais) para 1,48% e 1,17% em amostras acometidas pelos graus moderado e severo da miopatia, respectivamente. Além disso, houve redução ($P = 0,002$) da concentração de cinzas ao longo do processo de maturação de 1,57% (início) para 1,40% e 1,27% após três e sete dias de maturação,

respectivamente, possivelmente pelo aumento da concentração da umidade das amostras após o processo de maturação (Tabela 5).

Houve interação ($P < 0,05$) entre o grau de severidade da miopatia peito de madeira e o período de maturação para a quantidade de proteína, gordura, umidade, oxidação lipídica e colesterol (Tabela 5). Amostras de músculo de frango com grau moderado e severo da miopatia peito de madeira apresentaram menores concentrações proteica e lipídica e maior umidade que amostras de frango normal. Houve redução da quantidade de proteína em amostras com peito de madeira, menor quantidade de gordura em amostras normais e grau moderado da miopatia e aumento da umidade em amostras normais e com grau severo da miopatia após o processo de maturação, que possivelmente provocou essa redução na concentração lipídica e proteica devido ao aumento da concentração da umidade.

Observa-se que a miopatia peito de madeira está associada ao aumento significativo do percentual de umidade, em detrimento das concentrações de proteína e de cinzas. O maior conteúdo de umidade em amostras acometidas pela miopatia pode ser explicado pela presença de edema resultante de processos inflamatórios (Soglia *et al.* 2016), enquanto a redução do conteúdo proteico da carne pode estar associada às mudanças notáveis da estrutura muscular, características do músculo peitoral maior acometido pela miopatia peito de madeira (Tasoniero *et al.* 2016; Soglia *et al.* 2016). Amostras acometidas com o grau severo da miopatia peito de madeira, em comparação com amostras de frango normais, apresentaram maior variação nos valores de oxidação lipídica após sete dias de maturação, variando de 0,65 mg MDA/kg a 2,21 mg MDA/kg. Em amostras normais, a oxidação variou de 0,61 mg MDA/kg a 1,28 mg MDA/kg no mesmo período.

Altos níveis de oxidação lipídica não só reduzem a vida útil dos alimentos, mas também afetam suas características sensoriais (Mello *et al.* 2017). A menor oxidação lipídica observada em amostras de frango normal após sete dias de maturação poderia ser resultado da menor concentração de lipídeos, no entanto, não foi observada diferença ($P > 0,05$) na concentração de gordura entre amostras de frango normal e aqueles acometidos pela miopatia peito de madeira após sete dias de maturação.

Houve interação ($P = 0,0002$) entre grau de severidade da miopatia e período de maturação para concentração de colesterol (Tabela 5). Amostras de músculo de frango normal apresentaram menor quantidade de colesterol após três e sete dias de maturação do que amostras acometidas pela miopatia peito de madeira. O aumento da concentração de colesterol ocorreu

durante o processo de maturação nas amostras acometidas pela miopatia peito de madeira. Nam *et al.* (2001) observaram que embalar carnes cruas a vácuo foi suficiente para proteger o colesterol e os ácidos graxos da oxidação. Neste estudo todas as amostras utilizadas no processo de maturação foram individualmente embaladas a vácuo, e possivelmente esse processo conseguiu proteger o colesterol (Tabela 5) e os ácidos graxos (Tabela 7), principalmente os insaturados de condições adversas que poderia ter promovido um processo de oxidação, embora seja um composto relativamente estável. O aumento da concentração de gordura também aumenta o colesterol presente na carne, independente da espécie, raça, ou de fatores associados à alimentação (Pietruszka *et al.* 2015). Era esperado, no presente estudo, que ao diminuir a concentração de gordura, a de colesterol total também diminuísse, com base nos estudos de Pietruszka *et al.* (2015), no entanto, isso não foi observado nas amostras acometidas pelo grau moderado da miopatia peito de madeira que estudamos.

Tabela 5. Valores médios de proteína bruta, lipídeo, umidade, oxidação lipídica (TBARS) e colesterol da carne de peito de frangos de corte acometidos pela miopatia peito de madeira maturada por até sete dias.

Proteína (%)					
GS (n=20)	Período de maturação (M) (n=20)				P-valor
	Início	3 dias	7 dias		
Normal	25,20±0,61 ^{Aa}	25,41±0,69 ^{Aa}	23,55±0,82 ^{Aa}	(GS)	<0,0001
Moderado	23,31±0,58 ^{Ba}	24,91±0,58 ^{Aa}	18,80±0,65 ^{Bb}	(M)	<0,0001
Severo	22,97±0,58 ^{Ba}	23,21±0,58 ^{Ba}	19,74±0,61 ^{Bb}	(GS X M)	0,0401
Gordura (%)					
GS (n=20)	Período de maturação (M) (n=20)				P-valor
	Início	3 dias	7 dias		
Normal	3,36 ± 0,17 ^{Aa}	1,94 ± 0,18 ^{Ab}	2,05 ± 0,18 ^{Ab}	(GS)	0,0232
Moderado	2,61 ± 0,16 ^{Ba}	1,92 ± 0,15 ^{Ab}	1,99 ± 0,15 ^{Ab}	(M)	<0,0001
Severo	2,17 ± 0,15 ^{Ca}	1,91 ± 0,17 ^{Aa}	2,18 ± 0,15 ^{Aa}	(GS X M)	0,0014
Umidade (%)					
GS (n=20)	Período de maturação (M) (n=20)				P-valor
	Início	3 dias	7 dias		
Normal	73,66±0,29 ^{Bab}	73,43±0,34 ^{Bb}	74,45±0,37 ^{Ba}	(GS)	<0,0001
Moderado	74,20±0,29 ^{ABa}	73,77±0,29 ^{ABa}	73,56±0,30 ^{Ba}	(M)	<0,0001
Severo	76,41±0,29 ^{Ab}	74,49±0,34 ^{Ac}	77,64±0,34 ^{Aa}	(GS X M)	<0,0001
TBARS (mg MDA/kg de amostra)					
GS (n=20)	Período de maturação (M) (n=20)				P-valor
	Início	3 dias	7 dias		
Normal	0,61 ± 0,06 ^{Ab}	0,60 ± 0,07 ^{Ab}	1,28 ± 0,07 ^{Ca}	(GS)	<0,0001
Moderado	0,59 ± 0,06 ^{Ab}	0,48 ± 0,06 ^{Ab}	1,65 ± 0,07 ^{Ba}	(M)	<0,0001
Severo	0,65 ± 0,06 ^{Ab}	0,56 ± 0,07 ^{Ab}	2,21 ± 0,07 ^{Aa}	(GS X M)	<0,0001
Colesterol (mg/100g)					
GS (n=20)	Período de maturação (M) (n=20)				P-valor
	Início	3 dias	7 dias		
Normal	84,93±1,33 ^{ABa}	83,72±1,59 ^{Ba}	84,26±1,88 ^{Ba}	(GS)	<0,0001
Moderado	86,56±1,33 ^{Ab}	95,03±1,33 ^{Aa}	93,45±1,40 ^{Aa}	(M)	<0,0001
Severo	82,49±1,33 ^{Bb}	94,77±1,40 ^{Aa}	91,76±1,40 ^{Aa}	(GS X M)	0,0002

Médias seguidas por letras distintas nas colunas (maiúsculas) e nas linhas (minúsculas), são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (P<0,05). GS – grau de severidade; M – maturação; GSXM – interação.

Perfil de ácidos graxos

Houve interação significativa entre grau de severidade da miopatia e período de maturação para as variáveis ácidos graxos saturados (AGS), ácido láurico (C12:0), ácido

miristoléico (C14:1) e ácido γ linolênico (Tabela 6), no entanto, não foi verificada interação ($P>0,05$) entre os fatores estudados para o restante dos ácidos graxos quantificados (Tabela 7).

Tabela 6. Valores médios da concentração de ácidos graxos saturados (AGS), ácido laurico (C12:0), ácido miristoleico (C14:1) e ácido γ linolenico (C18:3n6) na gordura da carne de peito de frangos de corte acometidos pela miopatia peito de madeira maturada por até sete dias.

AGS (%)					
GS (<i>n</i> =20)	Período de maturação (M) (<i>n</i> =20)			P-valor	
	Início	3 dias	7 dias		
Normal	32,10±0,28 ^{Ba}	32,32±0,31 ^{Ba}	32,72±0,28 ^{ABa}	(GS)	0,0461
Moderado	32,45±0,28 ^{Bb}	32,46±0,28 ^{Bb}	33,55±0,35 ^{Aa}	(M)	0,6642
Severo	33,31±0,28 ^{Aa}	33,36±0,31 ^{Aa}	32,25±0,28 ^{Bb}	(GS X M)	0,0033
C12:0 (%)					
GS (<i>n</i> =20)	Período de maturação (M) (<i>n</i> =20)			P-valor	
	Início	3 dias	7 dias		
Normal	0,030±0,002 ^{Ba}	0,024±0,002 ^{Bb}	0,028±0,002 ^{Bab}	(GS)	0,0124
Moderado	0,036±0,002 ^{Aa}	0,030±0,002 ^{Ab}	0,030±0,002 ^{Bb}	(M)	0,0031
Severo	0,030±0,002 ^{Bb}	0,027±0,002 ^{ABb}	0,035±0,002 ^{Aa}	(GS X M)	0,0472
C14:1 (%)					
GS (<i>n</i> =20)	Período de maturação (M) (<i>n</i> =20)			P-valor	
	Início	3 dias	7 dias		
Normal	0,08 ± 0,01 ^{Ab}	0,09 ± 0,01 ^{Aa}	0,10 ± 0,01 ^{ABa}	(GS)	0,8623
Moderado	0,10 ± 0,01 ^{Aa}	0,09 ± 0,01 ^{Aa}	0,09 ± 0,01 ^{Ba}	(M)	0,0454
Severo	0,09 ± 0,01 ^{Ab}	0,08 ± 0,01 ^{Ab}	0,11 ± 0,01 ^{Aa}	(GS X M)	0,0101
C18:3n6 (%)					
GS (<i>n</i> =20)	Período de maturação (M) (<i>n</i> =20)			P-valor	
	Início	3 dias	7 dias		
Normal	0,18±0,01 ^{Aa}	0,16±0,01 ^{Bb}	0,17±0,01 ^{Aab}	(GS)	0,6480
Moderado	0,17±0,01 ^{ABab}	0,15±0,01 ^{Bb}	0,18±0,01 ^{Aa}	(M)	0,0731
Severo	0,16±0,01 ^{Ba}	0,18±0,01 ^{Aa}	0,18±0,01 ^{Aa}	(GS X M)	0,0182

Médias seguidas por letras distintas nas colunas (maiúsculas) e nas linhas (minúsculas), são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ($P<0,05$). GS – grau de severidade; M – maturação; GSXM – interação.

Tabela 7. Composição de ácidos graxos (% do total de ácidos graxos) da gordura da carne de peito de frangos de corte Cobb MX acometidos com miopatia peito de madeira após diferentes períodos de maturação.

Ácidos Graxos	Graus de severidade			Período de maturação			P-Valor		
	Normal	Moderado	Severo	0 dia	3 dias	7 dias	P(GS)	P(M)	P(GSXM)
AGMI	36,42±0,48 ^a	35,10±0,48 ^a	33,70±0,48 ^b	35,20±0,48	34,53±0,48	35,49±0,48	0,0011	0,3623	0,7814
AGPI	31,02±0,50 ^b	32,41±0,50 ^{ab}	33,46±0,50 ^a	32,18±0,50	32,71±0,50	32,01±0,50	0,0052	0,5914	0,4690
C15:0	0,070±0,002 ^b	0,074±0,002 ^{ab}	0,076±0,002 ^a	0,076±0,002 ^a	0,074±0,002 ^{ab}	0,070±0,002 ^b	0,0524	0,0421	0,1942
C16:1	3,61±0,12	3,55±0,12	3,35±0,12	3,41±0,12 ^b	3,33±0,12 ^b	3,77±0,13 ^a	0,2961	0,0373	0,0644
C17:0	0,107±0,003 ^b	0,109±0,003 ^b	0,120±0,003 ^a	0,115±0,003	0,111±0,003	0,111±0,003	0,0212	0,6114	0,1740
C17:1	0,047±0,001 ^b	0,051±0,001 ^a	0,049±0,001 ^{ab}	0,052±0,001 ^a	0,044±0,001 ^b	0,052±0,001 ^a	0,0173	<0,0001	0,1721
C18:0	7,45±0,16 ^b	7,45±0,16 ^b	8,09±0,16 ^a	7,50±0,16 ^b	8,01±0,16 ^a	7,48±0,16 ^b	0,0104	0,0390	0,1912
C18:1n9c	30,24±0,35 ^a	29,07±0,35 ^b	28,06±0,35 ^c	29,32±0,35	28,73±0,35	29,32±0,35	0,0003	0,3951	0,7733
C18:1n7	2,05±0,04	1,95±0,04	2,00±0,04	1,96±0,04 ^b	2,08±0,04 ^a	1,95±0,04 ^b	0,1260	0,0172	0,3074
C18:2n6c	24,90±0,36 ^b	26,43±0,38 ^a	26,40±0,36 ^a	26,12±0,36	25,57±0,36	26,04±0,38	0,0061	0,5173	0,1760
C18:3n3	1,54±0,03 ^b	1,65±0,03 ^a	1,62±0,03 ^{ab}	1,66±0,03 ^a	1,47±0,03 ^b	1,67±0,03 ^a	0,0522	<0,0001	0,2901
C18:2c9,t11	0,057±0,002 ^a	0,056±0,002 ^a	0,050±0,002 ^b	0,057±0,002	0,052±0,002	0,054±0,002	0,0093	0,1024	0,2132
C20:3n6	0,45±0,02	0,44±0,02	0,47±0,02	0,40±0,02 ^b	0,53±0,02 ^a	0,44±0,02 ^b	0,5822	0,0033	0,4381
C20:4n6	2,05±0,15 ^b	2,08±0,15 ^b	2,55±0,15 ^a	1,96±0,15 ^b	2,63±0,15 ^a	2,09±0,15 ^b	0,0313	0,0054	0,2922
C20:5n3 (EPA)	0,14±0,01	0,12±0,01	0,13±0,01	0,12±0,01 ^b	0,15±0,01 ^a	0,12±0,01 ^b	0,3600	0,0131	0,3724
C22:4n6 (DTA)	0,62±0,04 ^b	0,65±0,04 ^b	0,81±0,05 ^a	0,61±0,04 ^b	0,80±0,05 ^a	0,67±0,04 ^b	0,0111	0,0162	0,4510
C22:5n3 (DPA)	0,418±0,028 ^b	0,434±0,028 ^{ab}	0,497±0,028 ^a	0,396±0,028 ^b	0,524±0,028 ^a	0,428±0,028 ^b	0,0162	0,0063	0,5411
C22:6n3 (DHA)	0,19±0,02	0,19±0,02	0,21±0,02	0,18±0,02 ^b	0,24±0,02 ^a	0,18±0,02 ^b	0,7613	0,0194	0,5552
EPA+DHA	0,33±0,02	0,33±0,02	0,34±0,02	0,30±0,02 ^b	0,39±0,02 ^a	0,31±0,02 ^b	0,9654	0,0180	0,4313
ω 6	28,19±0,46 ^b	29,48±0,46 ^a	30,43±0,46 ^a	29,27±0,46	29,72±0,46	29,10±0,46	0,0050	0,6141	0,4544
ω 3	2,34±0,04 ^b	2,43±0,04 ^b	2,50±0,04 ^a	2,40±0,04	2,44±0,04	2,42±0,04	0,0261	0,8372	0,5800

Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha, são significativamente diferentes pelo Teste de Tukey (P<0,05). AGMI, Ácidos graxos monoinsaturado; AGPI, Ácidos graxos polinsaturados; EPA, Ácido eicosapentaenóico; DHA, Ácido docosahexaenóico; DTA, Ácido docosatetraenóico; DPA, Ácido docosapentaenóico. GS – grau de severidade; M – maturação; GSXM – interação.

Observando as concentrações de C12:0 e C18:0, em que a concentração de ácido láurico (Tabela 6) foram menores em amostras normais comparados aos acometidos com peito de madeira e houve aumento da concentração no grau severo da miopatia após sete dias de maturação, condizendo com o nível de colesterol (Tabela 5) apresentado nesse estudo, e as amostras acometidas com o grau severo da miopatia peito de madeira, apresentaram uma concentração maior ($P=0,01$) de ácido oléico (Tabela 7), também explica os níveis de colesterol das amostras acometidas com o grau severo desse estudo. Acredita-se que altas concentrações de ácido palmítico (C16:0) no animal aumenta o nível de colesterol junto com o ácido láurico (C12:0) e mirístico (C14:0), enquanto o ácido esteárico (C18:0) tem pouco ou nenhum efeito (Zock *et al.* 1994).

A gordura presente nas amostras de frango acometidos com o grau severo da miopatia peito de madeira apresentaram menores concentrações de ácidos graxos monoinsaturados (AGMI) e de ácido oléico (C18:1n9c) e maiores concentrações de ácidos graxos poliinsaturados (AGPI), ácido esteárico (C18:0), ácido araquidônico (C20:4n6) e ácido docosatetraenóico (C22:4n6 – DTA). Não houve diferença ($P>0,05$), nas concentrações dos ácidos docosahexaenóico (DHA), eicosapentaenóico (EPA), mirístico (C14:0) e palmítico (C16:0) (Tabela 7).

A tendência crescente de substituição de gorduras saturadas por gorduras insaturadas aumenta o receio sobre a estabilidade oxidativa dos produtos cárneos (Mello *et al.* 2017). Neste estudo, a maior concentração de AGPI observada na gordura das amostras de frango acometidos com o grau severo da miopatia peito de madeira possivelmente potencializou a oxidação lipídica (Tabela 5) durante o processo de maturação.

Em produtos cárneos, a oxidação lipídica é iniciada e propagada principalmente nas camadas de fosfolipídios das membranas celulares, que são ricas em ácidos graxos poli-insaturados (Wood *et al.* 2008). De acordo com os dados apresentados pela tabela 7 explica-se a maior oxidação lipídica de amostras acometidas pelo grau severo da miopatia peito de madeira, devido à sua maior ($P=0,005$) concentração de AGPI, quando comparadas às amostras de frango normais.

Não houve diferença significativa entre as amostras de frango normais e aquelas acometidas pela miopatia peito de madeira quanto à quantidade de EPA+DHA. Apesar das amostras com grau severo da miopatia peito de madeira apresentarem maior ($P=0,016$)

concentração de ácido docosapentaenóico (DPA - C22:5n3), neste estudo, a relação de $\omega 6/\omega 3$ foi de, aproximadamente, 12:1, independente do acometimento pela miopatia, o que excedeu a recomendação de 6:1 (Wijendran e Hayes 2004), uma vez que os AGPI são importantes para a saúde cardiovascular. Após três dias de maturação foi verificado aumento ($P < 0,05$) das concentrações de EPA+DHA, DPA, DTA, C20:4n6 e C18:0. Não houve efeito ($P > 0,05$) do processo de maturação para o ácido C18:1n9c. e não houve efeito do processo de maturação. A relação $\omega 6/\omega 3$ e os ácidos C14:0, C16:0, C20:0, C20:1n9, C20:2 e C20:3n3 foram avaliados mas não houve diferença estatística ($P > 0,05$).

Conclusões

Amostras de frango acometidos pelo grau severo da miopatia peito de madeira produzem mais exsudato, o que pode ser prejudicial ao processamento da carne de aves. O processo de maturação reduz a perda de peso por cozimento e a perda de proteína na exsudação, em peitos de frangos acometidos com miopatia peito de madeira, promovendo a melhora da qualidade dessa carne. Além disso, o grau severo da miopatia peito de madeira, possui níveis mais elevados de ácidos graxos polinsaturados, e o DHA, um importante ácido graxo $\omega 3$, que é benéfico para a saúde humana tem níveis iguais, com ou sem miopatia. Peitos de frango com miopatia não maturados são menos gordurosos que peitos normais. O período de maturação por 3 dias a 2°C em peitos com ou sem miopatia é suficiente para amaciar a carne, sem reduzir sua suculência, o que sugere que o processo de maturação pode ser de grande importância para indústrias avícolas, principalmente utilizados em peitos acometidos pela miopatia peito de madeira, o que pode permitir a inclusão de produtos com a miopatia sem prejuízos para o consumidor e com a manutenção da qualidade da carne..

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, 2017/5754-4) pelo auxílio à pesquisa concedido.

Conflitos de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Referencias

- AOAC (2011) 'Official methods of analysis.' 18th edn. (Association of Analytical Chemists: Washington, DC).
- Baldi G, Soglia F, Laghi L, Tappi S, Rocculi P, Tavaniello S, Prioriello D, Mucci R, Maiorano G, Petracci M (2019) Comparison of quality traits among breast meat affected by current muscle abnormalities. *Food Research International* **115**, 369-376.
- Beauclercq S, Hennequet-Antier C, Praud C, Godet E, Collin A, Tesseraud S, Berri C (2017) Muscle transcriptome analysis reveals molecular pathways and biomarkers involved in extreme ultimate pH and meat defect occurrence in chicken. *Scientific Reports* **7**, 6447.
- Bligh EG, Dyer WJ (1959) A rapid method for total lipid extraction and purification. *Canadian journal of biochemistry and physiology* **37**, 911-917.
- Cheng Q, Sun DW (2008) Factors affecting the water holding capacity of red meat products: a review of recent research advances. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **48**, 137-159.
- Cross HR, West RL, Dutson TR (1981) Comparison of methods for measuring sarcomere length in beef semitendinosus muscle. *Meat Science* **5**, 261-266.
- Culler RD, Parrish FC, Junior, Smith, GC, Cross HR (1978) Relationship of myofibril fragmentation index to certain chemical, physical and sensory characteristics of bovine Longissimus muscle. *Journal of Food Science* **43**, 1177-1180.
- de Brot S, Perez S, Shivaprasad HL, Baiker K, Polledo L, Clark M, Grau-Roma L (2016) Wooden breast lesions in broiler chickens in the UK. *Veterinary Record* **11**.
- Ferreira TZ, Casagrande RA, Vieira SL, Driemeier D, Kindlein L (2014) An investigation of a reported case of white striping in broilers. *Journal Applied Poultry Research* **23**, 748-753.
- Gornall AG, Bardawill CJ, David MM (1949) Determination of serum protein by means of the biuret reaction. *The Journal of Biological Chemistry* **177**, 751-766.
- Hamm R (1961). Biochemistry of meat hydration. *Advances in Food Research* **10**, 355-463.
- Hartree EF (1972) Determination of protein: a modification of the Lowry method that gives a linear photometric response. *Analytical Biochemistry* **48**, 422-427.
- Honikel KO (1987) The water binding of meat. *Fleischwirtsch* **67**, 1098-1102.
- Koohmaraie M, Whipple G, Crouse JD (1990) Acceleration of postmortem tenderization in lamb and Brahman cross beef carcasses through infusion of calcium chloride. *Journal of Animal Science* **68**, 1268-1278.
- Kuttappan VA, Owens CM, Coon C, Hargis BM, Vasquez-Anon M (2017) Incidence of broiler breast myopathies at 2 different ages and its impact on selected raw meat quality parameters. *Poultry Science* **96**, 3005-3009.
- Ledward DA (1992) Colour of raw and cooked meat. In 'The chemistry of muscle-based foods'. (Eds DE Johnson, MK Knight, DA Ledward), pp. 128-144. (Royal Society of Chemistry: Cambridge).
- Li P, Wang T, Mao Y, Zhang Y, Niu L, Liang R, Zhu L, Luo X (2014) Effect of ultimate pH on postmortem myofibrillar protein degradation and meat quality characteristics of Chinese yellow crossbreed cattle. *The Scientific World Journal* **2014**, 174253.
- Lyon CE, Lyon BG, Dickens JA (1998) Effects of carcass stimulation, deboning time, and marination on color and texture of broiler breast meat. *Journal of Applied Poultry Research* **7**, 53-60.

- Mazzoni M, Petracci M, Meluzzi A, Cavani C, Clavenzani P, Sirri F. (2015) Relationship between pectoralis major muscle histology and quality traits of chicken meat. *Poultry Science* **94**(1), 123-130.
- Mello JLM, Souza RA, Paschoalin GC, Ferrari FB, Machado BM, Giampietro-Ganeco A, Souza PA, Borba H (2017). A comparison of the effects of post-mortem aging on breast meat from Cobb 500 and Hubbard ISA broilers. *Animal Production Science* **58**(10), A-J.
- Método de metilação: Iso 5509 (1978) International Organization for Standardization. Iso. Animal and vegetable fats and oils – Preparation of methyl esters of fatty acids. Method Iso 5509, Geneve, 1 – 6.
- Monahan FJ, Skibsted LH, Andersen ML (2005) Mechanism of oxymyoglobin oxidation in the presence of oxidizing lipids in bovine muscle. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **53**, 5734–5738.
- Moura JWF, Medeiros FM, Alves MGM, Batista ASM (2015) Fatores influenciadores na qualidade da carne suína. *Revista Científica de Produção Animal* **17**, 18–29.
- Mudalal S, Lorenzi M, Soglia F, Cavani C, Petracci M (2015). Implications of white striping and wooden breast abnormalities on quality traits of raw and marinated chicken meat. *Animal* **9** (4), 728–734.
- Nam KC, Du M, Jo C, Ahn DU (2001) Cholesterol oxidation products in irradiated raw meat with different packaging and storage time. *Meat Science* **58**,431-435.
- Pietruszka A, Jacyno E, Kawęcka M, Biel W (2015) The relation between intramuscular fat level in the longissimus muscle and the quality of pig carcasses and meat. *Annals of Animal Science* **15** (4), 1031–1041.
- Pearce KL, Rosenvold K, Andersen HJ, Hopkins DL (2011) Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes – a review. *Meat Science* **89**, 111–124.
- Saldanha T, Mazalli MR, Bragagnolo N (2004) Avaliação comparativa entre dois métodos para determinação do colesterol em carnes e leite. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* **24** (1), 109-113.
- Sánchez-Brambila G, Bowker BC, Zhuang H (2016) Comparison of sensory texture attributes of broiler breast fillets with different grades of white striping. *Poultry Science* **95**, 2472–2476.
- SAS Institute Inc.(2002–2003)‘SAS version 9.4.’ (SAS Institute Inc: Cary, NC).
- Soglia F, Gao J, Mazzoni M, Puolanne E, Cavani C, Petracci M, Ertbjerg P (2017) Superficial and deep changes of histology, texture and particle size distribution in broiler wooden breast muscle during refrigerated storage. *Poultry Science* **96** (9), 3465–3472.
- Soglia F, Mudalal S, Babini E, Di Nunzio M, Mazzoni M, Sirri F, Cavani C, Petracci M (2016) Histology, composition, and quality traits of chicken Pectoralis major muscle affected by wooden breast abnormality. *Poultry Science* **95**, 651–659.
- Tallentire CW, Leinonen I, Kyriazakis I (2018). Artificial selection for improved energy efficiency is reaching its limits in broiler chickens. *Scientific Reports* **8**, 1168.
- Tasoniero G, Cullere M, Cecchinato M, Puolanne E, Dalle Zotte A (2016). Technological quality, mineral profile and sensory attributes of broiler chicken breasts affected by white striping and wooden breast myopathies. *Poultry Science* **95**, 2707–2714.
- Tijare VV, Yang FL, Kuttappan VA, Alvarado CZ, Coon CN, Owens CM (2016) Meat quality of broiler breast fillets with white striping and woody breast muscle myopathies. *Poultry Science* **95**, 2167–2173.

- Velleman SG, Clark DL, Tonniges JR (2017). Fibrillar collagen organization associated with broiler wooden breast fibrotic myopathy. *Avian Diseases* **61**(4), 481–490.
- Vyncke W (1970) Direct determination of the thiobarbituric acid value in trichloroacetic acid extracts of fish as a measure of oxidative rancidity. *Fette, Seifen, Anstrichmittel* **72**, 1084–1087.
- Watanabe A, Daly CC, Devine CE (1996) The effects of the ultimate pH of meat on tenderness changes during ageing. *Meat Science* **42**, 67–78.
- Wijendran V, Hayes KC (2004) Dietary n-6 and n-3 fatty acid balance and cardiovascular health. *Annual Review of Nutrition* **24**, 597–615.
- Windhorst HW (2017) Dynamics and patterns of global poultry-meat production. In M. Petracci, & C. Berri (Eds.). *Poultry quality evaluation* (pp.1–25). UK: Woodhead Publishing (Chapter1).
- Wood JD, Enser M, Fisher AV, Nute GR, Sheard PR, Richardson RI, Hughes SI, Whittington FM (2008) Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: a review. *Meat Science* **78**, 343–358.
- Zambonelli P, Zappaterra M, Soglia F, Petracci M, Sirri F, Cavani C, Davoli R. (2017) Detection of differentially expressed genes in broiler pectoralis major muscle affected by White Striping – Wooden Breast myopathies. *Poultry Science* **95**, 2771–2785.
- Zhuang H, Bowker B (2018) The wooden breast condition results in surface discoloration of cooked broiler pectoralis major. *Poultry Science* **97**, 4458–4461.
- Zock PL, de Vries JHM, Katan MB (1994). Impact of myristic acid versus palmitic acid on serum lipid and lipoprotein levels in healthy women and men. *Arteriosclerosis and Thrombosis* **14**, 567-575.

CAPÍTULO 4

*Este capítulo foi redigido segundo as normas editoriais do periódico **“Meat Science”**.*

Capítulo 4 - Avaliação do armazenamento sobre as propriedades físico-químicas, sensoriais e microbiológicas de linguças tipo frescal fabricadas com carne de peito de frangos acometidos pela miopatia peito de madeira

Rodrigo Fortunato de Oliveira^{AC}, Maísa Santos Fávero^A Juliana Lolli Malagoli de Mello^A, Fábio Borba Ferrari^A, Erika Nayara Freire Cavalcanti^A, Rodrigo Alves de Souza^{AB}, Mateus Roberto Pereira^A, Aline Giampietro-Ganeco^A, Erick Alonso Villegas-Cayllahua^A, Heloisa de Almeida Fidelis^A, Pedro Alves de Souza^A e Hirasilva Borba^A

^AUniversidade Estadual Paulista – UNESP, Departamento de Tecnologia, Via de Acesso Professor Donato Castellane, s/n, Zona Rural, 14884-900, Jaboticabal, São Paulo, Brasil.

^BUniversidade de São Paulo – USP, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Avenida Duque de Caxias Norte, nº 225, 13635-900, Pirassununga, São Paulo, Brasil.

^CAutor correspondente. Email: fortunatorodrigo@ymail.com

Resumo: Este estudo objetivou avaliar os possíveis efeitos do armazenamento sobre a qualidade de linguiças tipo frescal fabricadas com carne de peito de frangos acometidos pelos diferentes graus de severidade da miopatia peito de madeira. Foram utilizadas amostras de peito de frangos de corte machos da linhagem Ross (AP95) abatidos aos 48 dias de idade. Amostras normais (ausência de miopatia; grupo controle), de grau moderado (dureza apenas em uma região do filé de peito) e de grau severo (dureza em toda a extensão do filé de peito) foram processadas para a elaboração de linguiças tipo frescal e, posteriormente, foram avaliadas antes do armazenamento e após sete, 14, 21 e 28 dias de armazenamento a 4°C. De modo geral, durante o armazenamento foi verificada redução ($P < 0,05$) da maciez (de 85,48 N em amostras não armazenadas para 117,87 N após 28 dias de armazenamento). Os resultados demonstram que linguiças produzidas com carne de aves acometidas pela miopatia, em grau moderado ou severo, apresentaram maior estabilidade oxidativa. Linguiças tipo frescal produzidas com carne de peito de aves acometidas pela miopatia peito de madeira podem ser armazenadas (4°C) por até 28 dias sem apresentarem sabor e odor característicos de rancidez. Na análise sensorial não foram observadas diferenças entre as formulações, o que indica que os provadores aprovaram as amostras, independente do grau de acometimento da carne utilizada na produção das linguiças. A elaboração de linguiça tipo frescal com o peito de frango acometido pela miopatia peito de madeira é alternativa viável para indústria avícola reduzir as perdas econômicas oriundas da ocorrência desta miopatia.

Palavras-chave: consumidor, doença muscular, maciez, oxidação lipídica, qualidade da carne

1. Introdução

A produção mundial de carne de frango tem crescido consideravelmente nas últimas décadas e a estimativa para 2019 representa alta de 3% em relação ao total produzido no ano de 2018, de 95,5 milhões de toneladas (USDA, 2019). O sucesso da produção e exportação da carne de frango resulta das medidas adotadas pela indústria avícola com alta taxa de crescimento, melhor taxa de conversão alimentar e elevada produção de carne (Tijare et al., 2016), as quais satisfazem as necessidades de mercado. No entanto, problemas que prejudicam a funcionalidade e a qualidade da carne de frango têm acompanhado as seleções genéticas

(Petracci e Cavani, 2012), e a miopatia peito de madeira é um dos sérios problemas que afetam a qualidade da carne de frango (Kuttappan et al., 2016).

Os peitos de frango acometidos pela miopatia peito de madeira têm maior peso e espessura do que o peito normal e apresentam de forma parcial ou integral, regiões endurecidas do músculo, com superfície revestida por um “líquido túrbido” e viscoso, podendo apresentar hemorragias petequiais e sufusões nos casos mais graves (Sihvo et al. 2014; Dalle Zotte et al. 2014). A detecção de carne de peito com a miopatia peito de madeira só pode ser manualmente diferenciada durante a produção (Sihvo et al. 2014). Essa miopatia tem sido encontrada em vários países do mundo, como Europa e EUA (Sihvo et al. 2014; Mudalal et al. 2015; Mutryn et al. 2015; de Brot et al. 2016), com frequência crescente devido às maiores taxas de crescimento e rendimento de carne exigidas pela indústria. Além disso, a carne de frango acometido por essa miopatia tem maior taxa de perda por cozimento (Tasoniero et al., 2016). No entanto, até o momento, não se sabe se esse declínio na qualidade da carne impacta em outras propriedades funcionais que possam influenciar na produção de embutidos.

Como consequência de seu aspecto, o peito de frango acometido pela miopatia peito de madeira não apresenta padrões sensoriais de comercialização direta, sendo aproveitado para elaboração de produtos cárneos cozidos (Qin 2013; Mudalal et al., 2015), de linguiças, de ração animal ou então são descartados. A linguiça frescal apresenta-se como opção para o aproveitamento tecnológico de peito de frango acometido pela miopatia peito de madeira considerando seu valor comercial. No entanto, a legislação brasileira não relata aproveitamento de carne acometida pela miopatia peito de madeira na produção de produtos cárneos tipo frescal. Apesar disso, ressalta-se a ausência de dados de armazenamento de linguiça de frango elaborada com carne acometida pela miopatia peito de madeira. Nesse âmbito, estudos envolvendo o efeito do tempo e das condições de armazenamento de produtos cárneos são fatores essenciais no processamento desses produtos, uma vez que problemas relacionados à estabilidade do armazenamento são comuns (Kožačins et al. 2012).

Diante do exposto, esse estudo teve como objetivo avaliar a qualidade de linguiças tipo frescal fabricadas com carne de peito de frangos acometidos pelos diferentes graus de severidade da miopatia peito de madeira armazenadas por 28 dias.

2. Material e Métodos

2.1. Coleta de amostras e procedimento experimental

Foram utilizadas amostras de carne de peito de frangos de corte machos, da linhagem Ross (AP95), criados em sistema intensivo tradicional e abatidos aos 48 dias de idade. As amostras foram adquiridas em abatedouro comercial (SP, Brasil) inspecionado pelo Serviço de Inspeção Federal. As aves foram abatidas de acordo com a rotina do abatedouro com desossa mecânica do peito. As amostras, sem osso e sem pele, foram classificadas por meio de palpação de acordo com o grau de severidade da miopatia (moderado - dureza verificada apenas na região cranial ou na região caudal do filé de peito; severo - dureza verificada em toda a extensão do filé de peito). Foram coletadas também amostras de filé de peito classificadas como normais (ausência de miopatia), as quais foram utilizadas como grupo controle. Em seguida as amostras foram transportadas para o laboratório da universidade sob condições de refrigeração ($\pm 4^{\circ}\text{C}$).

Após o estabelecimento do *rigor mortis* (4 horas pós abate), as amostras coletadas foram identificadas e moídas para o processamento de linguças tipo frescal de peito de frango de cada grupo avaliado, de acordo com a formulação indicada na Tabela 1.

Após o processamento, as amostras foram separadas (pacotes com seis unidades), embaladas a vácuo (Selovac 200-B, São Paulo, SP, Brasil) em sacos plásticos ($18\ \mu$), pesadas e armazenadas em uma incubadora BOD (Eletrolab EL101/3 250W, Eletrolab) a $4^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Análises físico-químicas descritas a seguir foram realizadas em amostras não armazenadas (no dia da coleta; $n=20$ para cada grau de severidade e grupo controle (total $n=60$)) e após sete, 14, 21 e 28 dias de armazenamento ($n=20$ para cada grau de severidade e grupo controle (total $n=60$), para cada período).

Tabela 1. Formulação utilizada na elaboração de linguiças tipo frescal produzidas com peito de frangos acometidos pela miopatia peito de madeira

Ingredientes	(%)
Filé de peito	87,10
Pele de frango	10,0
Sal iodado	1,5
Pasta de alho	0,50
Pimenta do reino branca moída	0,15
Ácido cítrico (antioxidante)	0,735
Nitrito de sódio	0,015
Total	100

2.2. Métodos

A coloração (luminosidade - L*; intensidade de vermelho - a* e intensidade de amarelo - b*) foi determinada imediatamente após o processamento das amostras utilizando-se um colorímetro Minolta CR-400 (Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japão) (configurações: iluminação difusa/0 ângulo de visão, iluminante D65, componente especular incluído) calibrado para um padrão branco. As amostras cruas foram cortadas ao meio e o equipamento foi posicionado em três locais diferentes da massa da linguiça. O pH foi avaliado em triplicata utilizando-se um peagâmetro digital (Testo 205, Testo Inc., Sparta, NJ, EUA) munido de eletrodo de penetração, o qual foi inserido diretamente no interior de cada amostra.

Antes do cozimento as amostras foram pesadas em uma balança analítica. Posteriormente, foram cozidas em grill (George Foreman GBZ80) pré-aquecido (por 10 minutos) até que a temperatura interna das amostras atingisse 85°C (temperatura controlada com o uso de termopares inseridos individualmente em cada amostra (FE-MUX, Flyever Indústria e Comércio de Equipamentos Eletrônicos Ltda., São Carlos-SP, Brasil). Após resfriamento em temperatura ambiente, as amostras foram novamente pesadas para avaliação das perdas de peso durante o cozimento (PPC), e os resultados foram obtidos por diferença entre os pesos inicial e final, expressos em porcentagem. Em seguida, a análise de maciez foi realizada em um texturômetro (TAXT2i, Stable Micro Systems) e os resultados foram expressos em Newton.

Para a determinação da atividade de água (A_w), sub-amostras das linguças foram inseridas no analisador de atividade de água “Aqualab” (Decagon Devices Inc.), que utiliza o princípio do ponto de orvalho (metodologia aprovada pela AOAC 2011).

A perda de peso por armazenamento foi definida como a diferença entre o peso inicial e final de cada amostra, antes e após o armazenamento, expresso em porcentagem.

A composição química foi determinada após a realização das análises físicas. Foram liofilizadas (SuperModulyo220, Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, USA) e moídas para posterior determinação das concentrações de proteína e de matéria mineral segundo preconizado pela AOAC (2011), métodos 977.14 e 920.153, respectivamente. O percentual de umidade foi determinado por diferença entre os pesos das amostras antes e após a liofilização (AOAC 2011; método 950.46). A gordura foi determinada de acordo com o método proposto por Bligh e Dyer (1959).

A oxidação lipídica foi determinada em amostras não armazenadas e nas armazenadas utilizando o teste de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARs), segundo a metodologia descrita por Vyncke (1970).

Foi realizado um teste de avaliação sensorial para avaliar as percepções do consumidor em relação às formulações elaboradas com carne de peito acometida pela miopatia peito de madeira. O teste foi aplicado utilizando uma escala hedônica de nove pontos com escores variando entre 1 (desgostei muitíssimo) e 9 (gostei muitíssimo), avaliando os atributos aroma, sabor, textura, aparência e qualidade global (Figura 1). Foram consultados 100 provadores não treinados, os quais receberam o termo de consentimento livre e esclarecido, que foi lido e assinado individualmente antes das análises. Para o teste de aceitação as amostras de linguças foram cozidas em grill (George Foreman GBZ80) pré-aquecido (por 10 minutos) até que a temperatura do centro atingisse 85°C (temperatura controlada com o uso de termopares inseridos individualmente em cada amostra (FE-MUX, Flyever Indústria e Comércio de Equipamentos Eletrônicos Ltda., São Carlos-SP, Brasil). As amostras foram servidas juntas, aleatoriamente e codificadas com números de três dígitos. O teste de aceitação foi realizado após análise de conformidade dos parâmetros microbiológicos estabelecidos pela legislação brasileira de coliformes totais (normal – $1,5 \times 10^5$; moderado – $1,5 \times 10^4$ e severo – $0,36 \times 10^4$) e termotolerantes a 45°C/g (normal - $<0,3 \times 10^5$; moderado – $0,36 \times 10^4$; severo - $<0,3 \times 10^4$), *Salmonella* spp ausente em 25g (Todas as amostras foram ausentes de salmonella spp), *Staphylococcus* coagulase positiva/g (Todas as amostras apresentaram $1,0 \times 10^2$), bactérias

mesófilas/g (normal – $2,6 \times 10^3$; moderado – $6,8 \times 10^3$; severo – $1,4 \times 10^3$) e bactérias psicotróficas/g (Todas as amostras apresentaram $1,7 \times 10^3$) (Brasil, 2003).

Nome: _____ Data: _____

Você está recebendo amostras codificadas de linguiça de frango. Por favor, prove-as e avalie-as de forma global, utilizando a escala abaixo:

- 9- Gostei muitíssimo
- 8- Gostei muito
- 7- Gostei moderadamente
- 6- Gostei ligeiramente
- 5- Nem gostei nem desgostei
- 4- Desgostei ligeiramente
- 3- Desgostei moderadamente
- 2- Desgostei muito
- 1- Desgostei muitíssimo

Amostra	Aparência	Aroma	Sabor	Textura	Aceitação

Observações _____

Não esqueça seu brinde!

Figura 1. Ficha do teste de avaliação sensorial utilizando uma escala hedônica de nove pontos para as formulações de linguiças frescal elaboradas com carne de peito acometida pela miopatia peito de madeira.

2.3. Análise estatística

Os dados obtidos nas análises físico-químicas foram analisados utilizando um delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 3x5 (dois graus de severidade da miopatia e um grupo controle e cinco períodos de armazenamento) com 20 repetições cada. Os resultados foram analisados pelo procedimento General Linear Models do Statistical Analysis System (SAS Institute Inc. 2002–2003). Os resultados obtidos na avaliação sensorial foram analisados utilizando um delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), considerando cada provador uma repetição. Todos os resultados foram

testados por análise de variância e comparados pelo teste de Tukey a um nível de significância de $P < 0,05$.

3. Resultados e discussão

3.1. Cor

Houve interação significativa entre grau de severidade e período de armazenamento para as variáveis luminosidade (L^*), intensidade de vermelho (a^*) e intensidade de amarelo (b^*) em amostras de linguiça tipo frescal de frango (Tabela 2).

Amostras armazenadas com exceção de 7 e 28 dias de armazenamento, ou não armazenadas, apresentaram aumento ($P=0,0008$) do valor de L^* . Durante o armazenamento, tanto amostras fabricadas com carne de aves normais, como as fabricadas com carne de aves acometidas pela miopatia apresentaram aumento ($P < 0,0001$) do valor de L^* , apresentando maior luminosidade aos 21 dias. Antes do armazenamento e após o armazenamento por 14 e 21 dias as amostras apresentaram aumento ($P=0,0122$) do valor de a^* . Durante o armazenamento, tanto amostras fabricadas com carne de aves normais como as fabricadas com carne de aves acometidas pela miopatia apresentaram aumento ($P < 0,0001$) do valor de a^* . Com relação à intensidade de amarelo, as amostras não armazenadas e as armazenadas por 14 e 21 dias e produzidas com carne de aves acometidas pelo grau severo da miopatia apresentaram maior valor de b^* (9,63, 10,48 e 13,25, respectivamente) do que as amostras produzidas com carne de aves normais (8,49, 8,72 e 11,53, respectivamente) ou as produzidas com carne de aves acometidas pelo grau moderado (7,87, 7,61 e 11,46, respectivamente) da miopatia peito de madeira. Em produtos processados em que é adicionado sal de cura (nitrito de sódio) à formulação, como é o caso da linguiça, é comum uma coloração mais uniforme pois o processo de cura em produtos cárneos reduz o valor de a^* , aumenta o valor de b^* e pode ou não alterar o L^* , formando um produto que sofre alteração para uma cor castanha ou marrom (Ramos e Gomide, 2017), processo esse evidenciado com o aumento do valor de b^* em todas as amostras.

Tabela 2. Valores médios luminosidade (L^*), de intensidade de vermelho (a^*) e de amarelo (b^*) de linguiças tipo frescal produzidas com carne de peito de frangos de corte Ross (AP95) acometidos com miopatia peito de madeira após diferentes períodos de armazenamento

		L^*				
A (n=100)	Normal	GS (n=60)			P-valor	
		Moderado	Severo			
Início	54,27±0,57 ^{Eb}	55,93±0,57 ^{Db}	58,72±0,56 ^{Ca}			
7 dias	60,89±0,59 ^{Ca}	56,84±0,59 ^{Db}	59,26±0,61 ^{Ca}	(GS)		0,0008
14 dias	59,22±0,59 ^{Db}	60,44±0,59 ^{Cb}	62,12±0,59 ^{Ba}	(A)		<0,0001
21 dias	67,47±0,59 ^{Ab}	68,56±0,59 ^{Aab}	69,29±0,59 ^{Aa}	(GS X A)		<0,0001
28 dias	62,24±0,59 ^{BCa}	62,35±0,62 ^{Ba}	60,85±0,59 ^{BCa}			

		a^*				
A (n=100)	Normal	GS (n=60)			P-valor	
		Moderado	Severo			
Início	1,54±0,09 ^{Cb}	1,48±0,09 ^{Eb}	1,93±0,09 ^{CDa}			
7 dias	2,17±0,09 ^{Ba}	1,84±0,09 ^{Db}	1,71±0,10 ^{Db}	(GS)		0,0122
14 dias	2,25±0,09 ^{Bb}	2,68±0,10 ^{Ba}	2,58±0,09 ^{Ba}	(A)		<0,0001
21 dias	2,89±0,10 ^{Ab}	2,94±0,09 ^{Ab}	3,46±0,10 ^{Aa}	(GS X A)		<0,0001
28 dias	2,03±0,09 ^{Ba}	2,28±0,11 ^{Ca}	2,07±0,09 ^{Ca}			

		b^*				
A (n=100)	Normal	GS (n=60)			P-valor	
		Moderado	Severo			
Início	8,49±0,21 ^{Cb}	7,87±0,22 ^{CDb}	9,63±0,21 ^{Ca}			
7 dias	10,00±0,23 ^{Ba}	10,00±0,23 ^{Ba}	9,66±0,23 ^{Ca}	(GS)		0,0319
14 dias	8,72±0,22 ^{Cb}	7,61±0,22 ^{Db}	10,48±0,22 ^{Ba}	(A)		<0,0001
21 dias	11,53±0,25 ^{Ab}	11,46±0,22 ^{Ab}	13,25±0,24 ^{Aa}	(GS X A)		0,0159
28 dias	9,79±0,22 ^{Ba}	8,29±0,24 ^{Cb}	9,35±0,22 ^{Ca}			

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$). Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem entre si pelo Teste de Tukey ($P<0,05$). A – Armazenamento, GS – Grau de severidade.

3.2. pH, perda de peso por cozimento e textura

Houve interação significativa entre grau de severidade e período de armazenamento para as variáveis pH e perda de peso por cozimento (PPC) em amostras de linguiça tipo frescal de frango (Tabela 3). Linguiças frescas produzidas com carne de frango acometida pela miopatia, apresentaram maior ($P<0,0001$) pH do que linguiças produzidas com carne de frangos classificados como normais. Houve efeito ($P<0,0001$) do armazenamento sobre o pH de linguiças frescas produzidas com carne de peito e independente do acometimento pela miopatia, houve redução do valor de pH até 28 dias de armazenamento. Esses valores de pH elevado nas linguiças frescas produzidos com carne de frango acometidos pela miopatia peito de madeira indica que houve influência do valor de pH da carne crua, porque a baixa glicólise

apresentada após o abate em peito acometido com essa miopatia provoca um pH mais alto, portanto, o maior valor de pH da carne de frango com a miopatia peito de madeira pode ser responsável por uma baixa glicólise pós-mortem. Em detalhe, o pH final mais elevado encontrado em filés com a miopatia peito de madeira é, provavelmente, devido à diminuição do potencial glicolítico, do estado energético e de alterações nas vias metabólicas (Zambonelli et al. 2017).

Tabela 3. Desdobramento da interação entre peitos acometidos com diferentes graus de miopatia peito de madeira e períodos de armazenamento de linguças tipo frescal produzidas com estas carnes e seus efeitos sobre o pH e perda de peso por cozimento (PPC).

		pH				
		GS (n=60)				
A (n=100)	Normal	Moderado	Severo	P-valor		
Início	5,855±0,004 ^{Bc}	5,927±0,004 ^{Ab}	5,952±0,004 ^{Aa}			
7 dias	5,775±0,004 ^{Cc}	5,832±0,004 ^{Bb}	5,919±0,004 ^{Ba}	(GS)	<0,0001	
14 dias	5,894±0,004 ^{Ab}	5,918±0,004 ^{Aa}	5,858±0,004 ^{Cc}	(A)	<0,0001	
21 dias	5,616±0,004 ^{Eb}	5,689±0,005 ^{Ca}	5,611±0,004 ^{Db}	(GS X A)	<0,0001	
28 dias	5,564±0,004 ^{Dc}	5,590±0,004 ^{Db}	5,608±0,004 ^{CDa}			
		PPC (%)				
		GS (n=60)				
A (n=100)	Normal	Moderado	Severo	P-valor		
Início	22,41±0,90 ^{Cb}	28,12±0,92 ^{Ba}	27,45±0,90 ^{Da}			
7 dias	24,80±0,90 ^{BCb}	24,58±0,90 ^{Cb}	29,75±0,90 ^{CDa}	(GS)	<0,0001	
14 dias	25,49±0,95 ^{Bb}	25,31±0,95 ^{Cb}	31,57±0,95 ^{BCa}	(A)	<0,0001	
21 dias	25,69±0,95 ^{Bb}	26,69±1,04 ^{BCb}	32,80±0,98 ^{ABa}	(GS X A)	<0,0001	
28 dias	37,46±1,04 ^{Aa}	38,76±1,01 ^{Aa}	35,03±0,95 ^{Ab}			

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem entre si pelo Teste de Tukey (P<0,05). A – Armazenamento, GS – Grau de severidade.

Amostras fabricadas com carne de frangos acometidos pela miopatia peito de madeira apresentaram maior perda de peso por cozimento do que linguças produzidas com carne de aves normais, com exceção de amostras armazenadas por 28 dias em que as de grau severo apresentaram menor PPC em relação às produzidas com carne de aves normais e de aves acometidas pelo grau moderado da miopatia. Foi observado aumento da perda de peso por cozimento até os 28 dias em todas as amostras estudadas. O incremento na perda de peso por cozimento em amostras produzidas com carne de aves acometidas por peito de madeira pode ser justificado pelas falhas nas proteínas miofibrilares ou sarcoplasmáticas, alterações histológicas que ocorrem na carne e consequente inibição das PPC dos produtos processados (Sanchez Brambila et al. 2017; Soglia et al. 2016; Mudalal et al. 2015). Quin (2013) observou

que em produtos cominuídos produzidos com peito acometido pela miopatia peito de madeira, que as perdas durante o cozimento foram reduzidas e próximas às de produtos elaborados com carne de peito de aves normais em consequência da formação de uma rede tridimensional entre as proteínas e a gordura da carne picada.

Quanto a maciez, não houve interação significativa entre grau de severidade da miopatia e período de armazenamento para a variável dureza. Amostras normais e de grau moderado apresentaram maior dureza quando comparadas às amostras produzidas com carne de aves acometidas pelo grau severo da miopatia. O processo de armazenamento resultou em redução da maciez das amostras. A redução da dureza observada em amostras produzidas com carne de aves afetadas pelo grau severo da miopatia peito de madeira pode ter sido causada por degeneração de fibra e redução do conteúdo de proteínas miofibrilares solúveis em sal (Mudalal et al. 2015) e também pela quantidade de gordura.

3.3. Perda de peso no armazenamento, atividade de água e oxidação lipídica

Houve interação significativa entre grau de severidade da miopatia peito de madeira e período de armazenamento para as variáveis perda de peso por armazenamento (PPA), atividade de água (A_w) e oxidação lipídica (Tabela 4). Amostras produzidas com carne de aves afetadas pelo grau severo da miopatia peito de madeira apresentaram maior ($P < 0,0001$) perda de peso (Tabela 4) aos 14 e 21 dias de armazenamento devido à sua menor capacidade de retenção de água. Após 21 dias de armazenamento a perda de peso em linguiças tipo frescal aumentou de 3,21% (amostras normais) para 4,21% em amostras produzidas com carne classificada como grau severo da miopatia, que não foi diferente das amostras com miopatia em grau moderado (4,02%). Esses valores de PPA elevado até aos 21 dias de armazenamento nas linguiças frescas produzidos com carne de frango acometidos pela miopatia peito de madeira indica que houve influência da capacidade de retenção de água da carne crua, porque a baixa capacidade de retenção de água apresentada após o abate em peito acometido com essa miopatia provoca uma maior perda por armazenamento, portanto, o menor valor de capacidade de retenção de água da carne de frango com a miopatia peito de madeira pode ser responsável por uma alta PPA. O valor de atividade de água das amostras, independente do acometimento pela miopatia, foi reduzido ($P < 0,0001$) ao longo do armazenamento por 28 dias sob refrigeração, sendo que amostras produzidas com peitos de frango acometidos pela miopatia

independente de armazenamento, apresentou maior ($P < 0,0001$) A_w comparado com amostras produzidas com peitos normais. O armazenamento por baixa temperatura é o método indicado na preservação da qualidade dos produtos considerados perecíveis, pois estes alimentos apresentam maiores valores para atividade de água e quando submetidos ao processo de armazenamento por baixa temperatura, ocorre diminuição desses valores. Em linguças frescal de frango, independente da ocorrência da miopatia ou não, verificaram-se menores valores de A_w nos produtos que foram submetidos à refrigeração, nos diferentes períodos de análise, diminuindo as chances de desenvolvimento microbiológico.

Amostras produzidas com carne de aves acometidas pelo grau severo da miopatia peito de madeira, em comparação com amostras produzidas com carne de frangos normais, apresentaram menor variação nos valores de oxidação lipídica após 28 dias de refrigeração. Com base nos resultados da Tabela 4, pode-se dizer que a oxidação lipídica foi baixa, provavelmente pela adição de nitrito de sódio (conservante) que retardou a oxidação lipídica e por tratar-se de um produto tipo frescal, onde inicialmente a oxidação lipídica é menor comparada com produtos menos frescos. Campos et al. (2006) evidenciaram que os resultados de oxidação lipídica devem situar-se entre 2 e 3 mg MDA/kg de produto para que sabor e odor característicos de rancidez sejam perceptíveis ao consumidor. O aumento da oxidação lipídica em produtos elaborados com carne de frango é devido à maior suscetibilidade à oxidação característica dos ácidos graxos poli-insaturados presentes neste tipo de matéria-prima (Mendes et al. 2008), e a variação nos resultados destas análises pôde ser verificada ao longo de 28 dias de armazenamento.

Tomando-se o valor máximo de 2 mg MDA/kg (Campos et al. 2006) de amostra para percepção de rancidez, é possível sugerir o armazenamento por 28 dias sob refrigeração para linguças tipo frescal, elaboradas ou não com carne de aves acometidas pela miopatia peito de madeira, sem que haja rancificação dos produtos. Soglia et al. (2016) reportaram valores maiores de TBARS em peitos acometidos com peito de madeira devido à quantidade de gordura apresentada nas amostras estudadas, diferentemente do que foi observado nas linguças formuladas com peitos acometidos por peito de madeira no presente estudo, onde não houve diferença na concentração de gordura. Justifica-se este comportamento pelo fato de que as linguças são produtos heterogêneos, processados, moídos e adicionados de pele, diluindo assim o efeito da anomalia peito de madeira no processo de oxidação lipídica.

Tabela 4. Perda de peso por armazenamento (PPA), atividade de água (Aw) e oxidação lipídica (TBARS) de linguças tipo frescal produzidas com carne de peito de frangos de corte Ross (AP95) acometidos com miopatia peito de madeira após diferentes períodos de armazenamento

		PPA (%)				
		GS (n=60)			P-valor	
A (n=80)	Normal	Moderado	Severo			
7 dias	3,40±0,15 ^{Ba}	3,15±0,15 ^{Ca}	3,43±0,15 ^{Ba}	(GS)		<0,0001
14 dias	3,21±0,15 ^{Bb}	3,55±0,15 ^{Bb}	4,04±0,15 ^{Aa}	(A)		<0,0001
21 dias	3,21±0,15 ^{Bb}	4,02±0,15 ^{Aa}	4,21±0,15 ^{Aa}	(GS X A)		0,0008
28 dias	4,06±0,15 ^{Aa}	4,25±0,15 ^{Aa}	4,04±0,15 ^{Aa}			
		Aw				
		GS (n=60)			P-valor	
A (n=100)	Normal	Moderado	Severo			
Início	0,972±0,002 ^{Aab}	0,968±0,002 ^{Ab}	0,973±0,002 ^{Aa}			
7 dias	0,925±0,002 ^{Bc}	0,931±0,002 ^{Bb}	0,946±0,003 ^{Ba}	(GS)		<0,0001
14 dias	0,890±0,002 ^{Ec}	0,916±0,002 ^{Ca}	0,901±0,002 ^{Eb}	(A)		<0,0001
21 dias	0,902±0,002 ^{Db}	0,900±0,002 ^{Eb}	0,908±0,002 ^{Da}	(GS X A)		<0,0001
28 dias	0,911±0,002 ^{Cb}	0,909±0,002 ^{Db}	0,919±0,002 ^{Ca}			
		TBARS (mg MDA/kg Amostra)				
		GS (n=60)			P-valor	
A (n=100)	Normal	Moderado	Severo			
Início	0,38±0,04 ^{Da}	0,37±0,04 ^{Ca}	0,42±0,04 ^{Da}			
7 dias	0,87±0,05 ^{Bb}	0,94±0,05 ^{Ab}	1,11±0,04 ^{Aa}	(GS)		<0,0001
14 dias	1,39±0,05 ^{Aa}	0,89±0,05 ^{Ab}	0,70±0,04 ^{Cc}	(A)		<0,0001
21 dias	0,66±0,04 ^{Cb}	0,67±0,04 ^{Bb}	0,84±0,04 ^{Ba}	(GS X A)		<0,0001
28 dias	1,29±0,05 ^{Aa}	0,59±0,04 ^{Bb}	0,62±0,04 ^{Cb}			

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem entre si pelo Teste de Tukey (P<0,05). A – Armazenamento, GS – Grau de severidade.

3.4. Composição química

Não houve efeito (P>0,05) da miopatia e do armazenamento sobre a concentração de cinzas das amostras. Houve interação (P<0,05) entre o grau de severidade da miopatia peito de madeira e o período de armazenamento para a quantidade de proteína (Tabela 5). Houve efeito da miopatia (P<0,0001) e do armazenamento (P=0,0003) para a quantidade de umidade, mas não houve efeito (P>0,05) para a concentração de gordura de linguça de frango frescal.

Amostras produzidas com carne de aves afetadas pelo grau severo da miopatia apresentaram maior umidade do que amostras produzidas com carne de aves normais e com carne de aves acometidas pelo grau moderado da miopatia. Houve redução da umidade das amostras aos 21 e 28 dias de armazenamento, independente do acometimento pela miopatia. O

aumento da umidade de amostras produzidas com carne de aves afetadas pelo grau severo da miopatia peito de madeira seguiu a tendência da adição da matéria-prima (Wold et al. 2017; Soglia et al. 2016; Zambonelli et al. 2017), por apresentar na forma in-natura e sem processamento, maior umidade do que peito de frango sem miopatia. Sihvo et al. (2014) justificam que o aumento de umidade no peito acometido pela miopatia peito de madeira pode resultar da presença de edemas no peito como consequência de processos inflamatórios. Em geral, todos os produtos perderam umidade durante o armazenamento devido à produção de exsudato, o que explicaria a perda de peso (Tabela 4).

Tabela 5. Valores médios de umidade, gordura e proteína de linguiças tipo frescal produzidas com carne de peito de frangos de corte Ross (AP95) acometidos com miopatia peito de madeira após diferentes períodos de armazenamento

	Umidade (%)		Gordura (%)	
	Grau de severidade (GS)			
Normal	70,72±0,11 ^B		4,84±1,17	
Moderado	70,96±0,10 ^B		5,33±1,97	
Severo	72,00±0,09 ^A		5,57±1,13	
	Tempo de armazenamento (A)			
Início	71,55±0,15 ^A		4,79±1,12	
7 dias	71,45±0,12 ^A		5,01±1,18	
14 dias	71,34±0,12 ^A		5,26±1,18	
21 dias	70,87±0,12 ^B		5,08±1,16	
28 dias	70,93±0,12 ^B		6,10±1,17	
	P-valor			
(GS)	<0,0001		0,1170	
(A)	0,0003		0,0858	
(GS x A)	0,2419		0,4941	
	Proteína (%)			
	GS (n=60)			P-valor
A (n=100)	Normal	Moderado	Severo	
Início	14,32±0,64 ^{Bb}	17,27±0,61 ^{ABa}	17,36±0,58 ^{ABa}	
7 dias	19,72±0,61 ^{Aa}	18,76±0,61 ^{Aab}	17,90±0,61 ^{Ab}	(GS) 0,0224
14 dias	15,47±0,61 ^{Ba}	16,19±0,61 ^{BCa}	15,94±0,61 ^{BCa}	(A) <0,0001
21 dias	14,37±0,61 ^{Bb}	17,05±0,61 ^{BCa}	16,37±0,58 ^{ABCa}	(GS X A) 0,0053
28 dias	15,48±0,64 ^{Ba}	15,47±0,69 ^{Ca}	15,45±0,58 ^{Ca}	

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem entre si pelo Teste de Tukey (P<0,05). A – Armazenamento, GS – Grau de severidade.

O efeito da utilização de carne de peito de aves acometidas pela miopatia peito de madeira sobre a concentração de proteína das amostras foi observado apenas no intervalo de 0

a 21 dias, com tendências de variação não muito claras entre as três formulações. Houve redução da concentração proteica em amostras produzidas com carne de aves acometidas pela miopatia peito de madeira após 28 dias de armazenamento. Não houve efeito significativo ($P>0,05$) da miopatia e do armazenamento na concentração de gordura de linguiças frescal. A redução do conteúdo proteico da carne pode estar associada às mudanças notáveis da estrutura muscular, características do músculo peitoral maior acometido pela miopatia peito de madeira (Tasoniero *et al.* 2016; Soglia *et al.* 2016). O efeito da degradação protéica que ocorre no peito afetado pela miopatia, provavelmente, foi contrabalançado nas amostras pela adição da pele como fonte lipídica, juntamente com o efeito do processamento durante as etapas da moagem, mistura e adição de sal de cura.

Com relação ao padrão do ministério da agricultura, pecuária e abastecimento para atender a composição e requisitos mínimos necessários para ser considerado uma linguiça do tipo frescal (Brasil, 2000), somente a umidade (máximo de 70%) não foi atendida na linguiça produzida com o grau severo da miopatia peito de madeira. Todas as linguiças, independente do acometimento ou não da miopatia, apresentaram requisitos mínimos necessários para a concentração de gordura (Máximo de 30%) e proteína (mínimo de 15%) (Brasil, 2000).

3.5. Avaliação sensorial

Os parâmetros avaliados na análise sensorial (Tabela 6), com provadores não treinados, não apresentaram diferenças ($P>0,05$). Os resultados da análise sensorial demonstraram um potencial de utilização do peito de frango acometido pela miopatia peito de madeira na elaboração de linguiças do tipo frescal, uma vez que os provadores não detectaram as diferenças entre as características sensoriais de produtos elaborados com o peito de frango normal e com os graus moderado e severo da miopatia peito de madeira. Os índices de aceitação para os atributos aparência, aroma, sabor, textura e aceitação global foram superiores a 60%, indicando que as amostras foram aceitas sensorialmente. Especificamente com relação ao sabor, todas amostras tiveram uma boa aceitação global, pontuadas positivamente em 7,58 (gostei muito).

Tabela 6. Valores médios dos atributos sensoriais para linguiças de frango advindas do músculo peitoral maior de frangos de corte Ross (AP95) acometidos com miopatia peito de madeira advindas de análise sensorial com provadores não treinados utilizando uma escala hedônica de 1 a 9

Atributos sensoriais	Tratamentos			P-Valor
	Normal	Moderado	Severo	
Aparência	7,02±0,15	6,94±0,18	6,93±0,18	0,9096
Aroma	7,36±0,14	7,16±0,16	7,07±0,17	0,3857
Sabor	7,76±0,11	7,46±0,16	7,51±0,16	0,2043
Textura	7,17±0,15	7,52±0,15	7,32±0,16	0,2611
Aceitação global	7,43±0,12	7,29±0,15	7,28±0,17	0,6948

4. Conclusões

Apesar de amostras de linguiça tipo frescal produzidas com carne de peito de frangos acometidos pela miopatia peito de madeira apresentarem características químicas aceitáveis, a matéria-prima utilizada provocou uma pequena redução na qualidade física da linguiça, principalmente na coloração, pH e perda de peso por cozimento. O armazenamento ao longo de 28 dias de refrigeração, que provocou redução da concentração de proteínas em linguiças frescal produzidas com carne de frango acometido pela miopatia peito de madeira, apresentou efeito positivo sobre a qualidade da linguiça. O peito de frango acometido com a miopatia peito de madeira apresentou grande potencial para ser utilizado na elaboração de linguiça frescal, uma vez que parâmetros sensoriais do produto não foram influenciados pela adição da carne com peito de madeira. A carne de frango acometida pela miopatia peito de madeira pode ser utilizada na indústria para a elaboração de linguiças frescal e diminuir as perdas econômicas causadas por essa miopatia.

5. Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, 2017/5754-4) pelo auxílio à pesquisa concedido.

6. Conflitos de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesse.

7. Referências

- AOAC (2011) *‘Official methods of analysis.* (18th edn.) (Association of Analytical Chemists: Washington, DC).
- Bligh, E.G., & Dyer, W.J. (1959). A rapid method for total lipid extraction and purification. *Canadian journal of biochemistry and physiology*, 37, 911 - 917.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento. (2000). *Instrução Normativa n°4, de 31 de março de 2000. Aprova os Regulamentos Técnicos de Identidade e Qualidade de Carne Mecanicamente Separada, de Mortadela, de Linguiça e de Salsicha.* Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2003). *Instrução normativa n° 62, de 26 de agosto de 2003. Oficializar os Métodos Analíticos Oficiais para Análises Microbiológicas para Controle de Produtos de Origem Animal e Água.* Secretaria de Defesa Agropecuaria, Brasil, 1-194.
- Campos, M.M., Nute, G.R., Hughes, S.I., Enser, M., Wood, J.D., & Richardson, R.I. (2006). Flavour perception of oxidation in beef. *Meat Science*, 72(2), 303-311.
- Dalle Zotte, A., Cecchinato, M., Quartesan, A., Bradanovic, J., Tasoniero, G., & Puolanne, E. (2014). How does “Wooden Breast” myodegeneration affect poultry meat quality? *Archivos Latinoamericanos de Produccion Animal*, 22, 476-479.
- de Brot, S., Perez, S., Shivaprasad, H.L., Baiker, K., Polledo, L., Clark, M., & Grau-Roma, L. (2016). Wooden breast lesions in broiler chickens in the UK. *Veterinary Record*, 178, 141.
- Kozačins, L., Fleck, Ž.C., Filipović, I., Mitak, M., Bratulić, M., & Mikuš, T. (2012). Evaluation of shelf life of pre-packed cut poultry meat. *Veterinarski Archiv*, 82 (1), 47-58.
- Kuttappan, V.A., Hargis, B.M., & Owens, C.M. (2016). White striping and woody breast myopathies in the modern poultry industry: a review. *Poultry Science*, 95, 2724–2733.
- Mendes, R., Pestana, C., & Gonçalves, A. (2008). The effects of soluble gas stabilisation on the quality of packed sardine fillets (*Sardina pilchardus*) stored in air, VP and MAP. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(11), 2000–2009.
- Mudalal, S., Lorenzi, M., Soglia, F., Cavani, C., & Petracci, M. (2015). Implications of white striping and wooden breast abnormalities on quality traits of raw and marinated chicken meat. *Animal*, 9 (4), 728–734.

- Mutryn, M.F., Brannick, E.M., Fu, W., Lee, W.R., & Abasht, B. (2015). Characterization of a novel chicken muscle disorder through differential gene expression and pathway analysis using RNA sequencing. *BMC Genomics*, 16 (1), 1-19.
- Petracci, M., & Cavani, C. (2012). Muscle growth and poultry meat quality issues. *Nutrients*, 4, 1 –12.
- Qin, N. (2013). *The Utilization of Poultry Breast Muscle of Different Quality Classes*. Thesis: Department of Food and Environmental Science, University of Helsinki.
- Ramos, E.M., & Gomide, L.A.M. (2017) *Avaliação da qualidade de carnes – Fundamentos e metodologias*, 2ªed: Textura, suculência e maciez da carne. Viçosa: UFV.
- SAS Institute Inc.(2002–2003)‘SAS version 9.4.’ (SAS Institute Inc: Cary, NC)
- Sihvo, H.K., Immonen, K., & Puolanne, E. (2014). Myodegeneration with fibrosis and regeneration in the pectoralis major muscle of broilers. *Veterinary pathology*, 51, 619-623, 2014.
- Soglia, F., Laghi, L., Canonico, L.C., Cavani, C., & Petracci, M. (2016) Functional property issues in broiler breast meat related to emerging muscle abnormalities. *Food Research International*, 89 (3), 1071-1076.
- Tasoniero, G., Cullere, M., Cecchinato, M., Puolanne, E., & Dalle Zotte, A. (2016). Technological quality, mineral profile and sensory attributes of broiler chicken breasts affected by white striping and wooden breast myopathies. *Poultry Science*, 95, 2707–2714.
- Tijare, V.V., Yang F.L., Kuttappan V.A., Alvarado, C.Z., Coon, C.N., & Owens, C.M. (2016). Meat quality of broiler breast fillets with white striping and woody breast muscle myopathies. *Poultry Science*, 95, 2167–2173.
- USDA – United States Department of Agriculture. Relatório anual (ano 2019). Disponível em: <http://www.usdabrazil.org.br/pt-br/>.
- Vyncke, W. (1970) Direct determination of the thiobarbituric acid value in trichloroacetic acid extracts of fish as a measure of oxidative rancidity. *Fette, Seifen, Anstrichmittel*, 72, 1084–1087.
- Wold, J.P., Veiseth-Kent, E., Høst, V., & Løvland, A. (2017) Rapid on-line detection and grading of wooden breast myopathy in chicken fillets by near-infrared spectroscopy. *PLoS One*, 12(3), e0173384.
- Zambonelli, P., Zappaterra, M., Soglia, F., Petracci, M., Sirri, F., Cavani, C., & Davoli, R. (2017). Detection of differentially expressed genes in broiler pectoralis major muscle affected by White Striping – Wooden Breast myopathies. *Poultry Science*, 95, 2771–2785.

CAPÍTULO 5

*Este capítulo foi redigido segundo as normas editoriais do periódico **Meat Science**.*

Capítulo 5 - Avaliação do armazenamento sobre as propriedades físico-químicas, sensoriais e microbiológicas de hambúrgueres processados com carne de frangos acometidos pela miopatia peito de madeira

Rodrigo Fortunato de Oliveira^{AC}, Maísa Santos Fávero^A Juliana Lolli Malagoli de Mello^A, Fábio Borba Ferrari^A, Erika Nayara Freire Cavalcanti^A, Rodrigo Alves de Souza^{AB}, Mateus Roberto Pereira^A, Aline Giampietro-Ganeco^B, Erick Alonso Villegas-Cayllahua^A, Heloisa de Almeida Fidelis^A, Pedro Alves de Souza^A e Hirasilva Borba^A

^AUniversidade Estadual Paulista – UNESP, Departamento de Tecnologia, via de acesso Professor Donato Castellane, s/n, Zona Rural, 14884-900, Jaboticabal, São Paulo, Brasil.

^BUniversidade de São Paulo – USP, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Avenida Duque de Caxias Norte, nº 225, 13635-900, Pirassununga, São Paulo, Brasil.

^CAutor correspondente. Email: fortunatorodrigo@ymail.com

Resumo: Este estudo objetivou avaliar os possíveis efeitos do armazenamento sobre a qualidade de hambúrgueres fabricados com carne de frangos acometidos pelos diferentes graus de severidade da miopatia peito de madeira. Foram utilizadas amostras de peito de frangos de corte machos da linhagem Ross (AP95) abatidos aos 48 dias de idade. Amostras normais (ausência de miopatia; grupo controle), de grau moderado (dureza apenas em uma região do filé de peito) e de grau severo (dureza em toda a extensão do filé de peito) foram processadas para a fabricação de hambúrgueres cuja análises de qualidade (cor, pH, perda de peso por cozimento, porcentagem de retração, maciez, perda de peso no armazenamento, atividade de água, oxidação lipídica, composição química e análise sensorial), foram realizadas no início do experimento (sem armazenamento) e após 30, 60, 90 e 120 dias sob armazenamento a -20°C . Durante o armazenamento foi verificada redução ($P < 0,05$) da maciez (de 161,31 N, em amostras frescas, para 287,57 N após 120 dias de armazenamento). Hambúrgueres produzidos com amostras de peito de frango acometidas pelo miopatia peito de madeira apresentaram maior ($P < 0,0001$) concentração de gordura (5,32% e 5,26%, respectivamente, para o grau moderado e severo da miopatia) que hambúrgueres de amostras de frangos normais (4,45%). Ao longo do armazenamento, independente da formulação, observou-se aumento nos valores de oxidação lipídica, os quais ultrapassaram o limite (3 mg MDA/kg) da detecção de rancidez. Os resultados demonstram que hambúrgueres fabricados com amostras acometidas com peito de madeira apresentaram maior estabilidade de oxidação lipídica (TBARS). Hambúrgueres poderão ser armazenados por até 60 dias a -20°C sem sabor e odor característico de rancidez. A avaliação sensorial não apontou diferenças significativas entre as formulações, indicando que os provadores não treinados aprovaram os hambúrgueres de frango, independente do tipo de carne de peito utilizado. A elaboração de hambúrguer com o peito de frango acometido pela miopatia peito de madeira é uma alternativa viável para indústria avícola reduzir as perdas econômicas provocadas por essa miopatia.

Palavras-chave: congelamento, maciez, qualidade da carne

1. Introdução

Nas últimas décadas, a produção global de frangos de corte aumentou continuamente, impulsionada pela crescente demanda dos consumidores por carne de frango. A carne de frango

é importante na nutrição humana devido ao seu conteúdo natural de compostos promotores de saúde e valor nutritivo. Em um futuro próximo, a demanda por produtos derivados de frango com componentes nutricionais enriquecidos e valiosos deve aumentar. Esses novos produtos à base de carne de frango não devem ter apenas alto valor nutricional e melhorar a saúde, mas também ser seguros, saborosos e convenientes para o consumo (Stangierski e Lesnierowski, 2015). Essas propriedades nutricionais de composição física e química não apenas satisfazem as tendências do consumidor, mas também fornecem atributos funcionais como a maciez ou a capacidade de reter água, que tornam a carne de frango útil para o processamento posterior e o desenvolvimento de novos produtos cárneos.

Para atender aos consumidores, os cientistas avícolas aumentaram a produção de aves por meio da criação seletiva. No entanto, problemas que prejudicam a funcionalidade e a qualidade da carne de frango têm acompanhado as seleções genéticas (Petracci e Cavani, 2012). Entre as miopatias musculares, o peito amadeirado tem apresentado sérios problemas de qualidade (Kuttappan et al., 2016). Esta miopatia proporciona uma carne com aspecto endurecido e cor não agradável, não apresenta padrões sensoriais de comercialização direta, sendo aproveitado para elaboração de produtos cárneos industrializados tipo hambúrgueres (Sanchez-Brambila et al., 2017), de ração animal ou são descartados. O hambúrguer apresenta-se como opção para o aproveitamento tecnológico de peito de frango acometido pela miopatia peito de madeira considerando-se seu valor comercial. No entanto, a legislação brasileira não prevê aproveitamento de peitos acometidos pela miopatia peito de madeira na produção de produtos cárneos industrializados. Apesar disso, ressalta-se a ausência de dados de armazenamento de hambúrguer elaborado com peito acometido pela miopatia. Nesse âmbito, estudos envolvendo o efeito do tempo e das condições de armazenamento de produtos cárneos são fatores essenciais no processamento desse produto, uma vez que problemas relacionados à estabilidade do armazenamento são comuns (Kozáčins et al. 2012).

Diante do exposto, esse estudo teve como objetivo avaliar a qualidade de hambúrgueres de frangos fabricados com carne de peito de frango acometidos pelos diferentes graus de severidade da miopatia peito de madeira armazenados por 120 dias.

2. Material e Métodos

2.1. Coleta de amostras e procedimento experimental

Foram coletadas amostras de músculo *Pectoralis Major* de frangos Ross (AP 95) machos em abatedouro comercial (SP, Brasil) inspecionado pelo Serviço de Inspeção Federal acometidos pela miopatia “Peito de Madeira”, e classificadas por meio de palpação (Mutryn et al. 2015) de acordo com o grau de severidade da miopatia (moderado - dureza verificada apenas na região cranial ou na região caudal do filé de peito; severo - dureza verificada em toda a extensão do filé de peito), bem como de um grupo controle (amostras sem a presença de miopatias). Os frangos foram criados em sistema intensivo tradicional e abatidos aos 48 dias de idade. Após a caracterização do grau de severidade da miopatia, as amostras foram separadas dentro de cada categoria da anomalia e transportadas para o laboratório da universidade sob condições de refrigeração ($\pm 4^{\circ}\text{C}$).

Após 4 horas pós abate (estabelecimento do *rigor mortis*), as amostras coletadas foram moídas para processamento sendo elaborados hambúrgueres contendo peito de frango de cada grupo avaliado, de acordo com a formulação indicada na Tabela 1.

Tabela 1. Formulação utilizada na elaboração de hambúrgueres produzidas com peito de frangos acometidos pela miopatia peito de madeira

Ingredientes	(%)
Filé de peito	87,10
Pele de frango	10,00
Sal iodado	1,5
Pasta de alho	0,30
Pimenta do reino branca moída	0,10
Ácido cítrico (antioxidante)	1,0
Total	100

Após processamento, os hambúrgueres foram pesados individualmente padronizando o peso médio de 100 g e armazenados sob congelamento (-20°C). Análises físico-químicas descritas a seguir foram realizadas em amostras não armazenadas, nas armazenadas aos 30, 60

e 120 dias, sendo que em cada período foram utilizados 60 hambúrgueres, sendo 20 de cada miopatia (controle, moderado e severo).

2.2. Métodos

A cor foi determinada através do colorímetro Minolta Chrome Meter modelo CR-400 (Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japão) (configurações: iluminação difusa/0° ângulo de visão, iluminante D65, componente especular incluído) calibrado para um padrão branco, que utiliza o sistema CIELAB (L^* , a^* e b^*). Foram avaliados parâmetros como luminosidade (L^*), intensidade de vermelho (a^*) e intensidade de amarelo (b^*) em três locais diferentes da superfície do hambúrguer de frango.

O pH foi determinado em triplicata, utilizando um peagometro digital da marca Testo (Testo 205, Testo Inc., Sparta, NJ, EUA) munido de eletrodo de penetração, por meio da inserção direta no hambúrguer.

O peso dos hambúrgueres antes de congelados, foi determinado em uma balança analítica. Posteriormente, os produtos foram submetidos ao processo de cozimento (fritura) em grelha elétrica (George Foreman GBZ80) ainda congelados e, logo após a etapa de cozimento, o excesso de gordura dos hambúrgueres foi removido com papel-toalha para que, em seguida, sua massa novamente fosse determinada para avaliação das perdas de peso por cocção (PPC), cujos resultados foram obtidos por diferença entre os pesos inicial e final, expressos em porcentagem. Para determinação da porcentagem de encolhimento ou retração (PR), o hambúrguer ainda congelado teve seu diâmetro médio determinado pela medição da seção transversal em três regiões distintas, utilizando-se um paquímetro digital 6" (Marca Zaas Precision, AMATOOLS Commercial e Importadora Ltda). Após o processo de cozimento o diâmetro foi novamente determinado. Após, a análise de dureza foi realizada em um texturômetro (TAXT2i, Stable Micro Systems) e os resultados foram expressos em Newton.

Sub-amostras de hambúrguer de frango foram inseridas no recipiente do analisador de atividade de água (A_w) "Aqualab" (Decagon Devices Inc.), que utiliza o princípio do ponto de orvalho (AOAC, 2011).

A perda de peso por armazenamento foi definida como a diferença entre o peso inicial e final de cada amostra descongelada, antes e após o armazenamento, expresso em porcentagem.

A composição centesimal foi determinada em todas as amostras através das análises de umidade (950.46-Moisture in Meat), proteína (977.14-Nitrogen in Meat) e cinzas (920.153-Ash of Meat), conforme procedimentos preconizados pela Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2011) e a gordura foi determinada em todas as amostras pelo método descrito por Bligh e Dyer (1959).

A oxidação lipídica foi determinada em todas as amostras pelo teste de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARs), segundo a metodologia descrita por Vyncke (1970), que utiliza para extração o ácido tricloroacético, com 5 gramas de amostra moída e, após a reação de coloração sob aquecimento com ácido tiobarbitúrico, leitura no comprimento de onda 538 nm e o resultado expresso em mg de malonaldeído (MDA)/kg de amostra.

Foi realizada a análise sensorial para avaliar as diferenças percebidas pelo consumidor, entre as formulações elaboradas com carne de peito acometida pela miopatia “Peito de Madeira”. Foi aplicado a análise sensorial utilizando escala hedônica de nove pontos, avaliando os atributos aroma, sabor, textura, aparência e aceitação global (Figura 1). Cento e dez provadores receberam o TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE e ESCLARECIDO, que foi lido e assinado antes da realização da análise. Os hambúrgueres foram apresentados aos julgadores após verificar a conformidade dos parâmetros microbiológicos estabelecidos pela legislação brasileira para Coliformes totais e termotolerantes a 45°C/g, *Salmonella* spp/25g, *Estafilococos* coagulase positiva/g, bactérias mesófilas/g e bactérias psicotróficas/g (Brasil, 2003).

2.3. Análise estatística

Os dados obtidos nas análises físico-químicas foram analisados utilizando um delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 3x5 (três graus de severidade da miopatia e cinco períodos de armazenamento) com 20 repetições. Os dados obtidos na análise sensorial foram analisados utilizando um delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC). Os resultados foram analisados pelo procedimento General Linear Models do Statistical Analysis System (SAS Institute Inc. 2002–2003). Todos os dados foram testados por análise de variância (ANOVA) e comparados pelo teste de Tukey a um nível de significância de 5%.

Nome: _____ Data: _____

Você está recebendo amostras codificadas de hambúrguer de frango. Por favor, prove-as e avalie-as de forma global, utilizando a escala abaixo:

- 9- Gostei muitíssimo
- 8- Gostei muito
- 7- Gostei moderadamente
- 6- Gostei ligeiramente
- 5- Nem gostei nem desgostei
- 4- Desgostei ligeiramente
- 3- Desgostei moderadamente
- 2- Desgostei muito
- 1- Desgostei muitíssimo

Amostra	Aparência	Aroma	Sabor	Textura	Aceitação

Observações _____

Não esqueça seu brinde!

Figura 1. Ficha do teste de avaliação sensorial utilizando uma escala hedônica de nove pontos para as formulações de hambúrgueres elaboradas com carne de peito acometida pela miopatia peito de madeira.

3. Resultados e discussão

3.1. Cor do hambúrguer

Houve interação significativa entre grau de severidade e período de armazenamento para as variáveis luminosidade (L^*), intensidade de vermelho (a^*) e intensidade de amarelo (b^*) em amostras de hambúrguer de frango (Tabela 2). Amostras de hambúrguer produzidas com carne de frango acometido pela miopatia peito de madeira e armazenadas (com exceção aos 60 dias de armazenamento) ou não, apresentaram aumento ($P < 0,0001$) do valor de L^* comparado com amostras normais. Durante o armazenamento, tanto amostras de hambúrguer fabricadas com peitos normais, como pela miopatia apresentaram aumento ($P < 0,0001$) do valor de L^* , tendo o ponto máximo de luminosidade aos 60 dias. Amostras de hambúrguer frescas e armazenadas por 30 dias apresentaram aumento ($P < 0,0001$) do valor de a^* em relação ao grau de severidade.

Durante o armazenamento, tanto amostras de hambúrguer fabricadas com peitos normais, como as acometidas pelo grau moderado da miopatia apresentaram redução ($P < 0,0001$) do valor de a^* , diferente do grau severo que sofreu aumento aos 120 dias de armazenamento.

Com relação à intensidade de amarelo, amostras de hambúrguer não armazenadas e armazenadas por 30 dias e produzidas com peito acometido pelo grau severo da miopatia apresentaram maior valor de b^* (9,95 e 12,96, respectivamente) do que as amostras produzidas com peito normal (7,92 e 10,37, respectivamente) ou as produzidas com peito acometido pelo grau moderado (9,07 e 11,50, respectivamente) da miopatia peito de madeira. Após 60 dias de armazenamento, houve variação do valor de b^* entre as amostras afetadas pelos diferentes graus de severidade da miopatia, em que amostras de hambúrguer produzidas com peitos normais, apresentaram maior valor de b^* , comparadas aos hambúrgueres produzidos com peito acometido pela miopatia peito de madeira. Considerando cada grau de severidade durante o processo de armazenamento, amostras de hambúrguer produzidas com peito normal apresentaram aumento da intensidade de amarelo de 7,92 para 13,67; produzidas com peito acometido com o grau moderado da miopatia peito de madeira aumentaram de 9,07 para 14,30; e produzidas por peito acometido pelo grau severo da miopatia aumentaram de 9,95 para 13,44.

Tabela 2. Valores médios de luminosidade (L*), de intensidade de vermelho (a*) e de amarelo (b*) de hambúrgueres produzidos com carne de peito de frangos de corte Ross (AP95) acometidos com miopatia peito de madeira após diferentes períodos de armazenamento

		L*				
A (n=20)		GS (n=20)			P-valor	
	Normal	Moderado	Severo			
Início	52,87±0,49 ^{Ec}	57,70±0,51 ^{Cb}	60,03±0,49 ^{Ca}			
30 dias	58,61±0,49 ^{Cb}	62,86±0,49 ^{Aa}	64,11±0,64 ^{Aa}	(GS)		<0,0001
60 dias	64,91±0,49 ^{Aa}	63,65±0,49 ^{Ab}	62,63±0,49 ^{ABb}	(A)		<0,0001
90 dias	60,01±0,49 ^{Bb}	58,78±0,46 ^{Cb}	62,12±0,52 ^{Ba}	(GS X A)		<0,0001
120 dias	57,13±0,49 ^{Dc}	60,47±0,44 ^{Ba}	59,13±0,40 ^{Cb}			
		a*				
A (n=20)		GS (n=20)			P-valor	
	Normal	Moderado	Severo			
Início	0,34±0,10 ^{ABb}	1,40±0,10 ^{Aa}	1,35±0,10 ^{Ba}			
30 dias	0,55±0,10 ^{Ab}	1,21±0,11 ^{Aa}	1,35±0,13 ^{Ba}	(GS)		<0,0001
60 dias	0,18±0,10 ^{Ba}	-0,16±0,10 ^{Bb}	0,23±0,10 ^{Ca}	(A)		<0,0001
90 dias	-0,26±0,10 ^{Cb}	0,02±0,10 ^{Ba}	-1,35±0,11 ^{Dc}	(GS X A)		<0,0001
120 dias	-0,76±0,11 ^{Db}	-1,15±0,12 ^{Cc}	2,15±0,10 ^{Aa}			
		b*				
A (n=20)		GS (n=20)			P-valor	
	Normal	Moderado	Severo			
Início	7,92±0,27 ^{Dc}	9,07±0,27 ^{Cb}	9,95±0,27 ^{Ca}			
30 dias	10,37±0,27 ^{Bc}	11,50±0,27 ^{Bb}	12,96±0,35 ^{ABa}	(GS)		<0,0001
60 dias	13,28±0,27 ^{Aa}	12,02±0,27 ^{Bb}	12,22±0,27 ^{Bb}	(A)		<0,0001
90 dias	9,32±0,27 ^{Ca}	8,62±0,25 ^{Ca}	8,92±0,28 ^{Da}	(GS X A)		<0,0001
120 dias	13,67±0,27 ^{Aab}	14,30±0,24 ^{Aa}	13,44±0,22 ^{Ab}			

*Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem entre si pelo Teste de Tukey (P<0,05). A – Armazenamento, GS – Grau de severidade.

Os maiores valores de luminosidade e intensidade de amarelo encontrados em hambúrgueres produzidos com peito acometido pela miopatia peito de madeira podem ser explicados, respectivamente, devido à matéria-prima utilizada apresentar modificações no tecido muscular após degeneração histológica nos músculos afetados e pelo aumento característico da quantidade de gordura nos filés, usados para produzir os hambúrgueres (Mudalal et al. 2015; Sánchez-Brambila et al. 2016). Provavelmente a temperatura de armazenamento e o próprio processo de oxidação dos hambúrgueres fez com que ocorresse a queda do valor de a* naqueles produzidos com peito de frango normal e naqueles afetados pela miopatia peito de madeira com grau moderado, quando comparados aos hambúrgueres produzidos com carne de frango com grau severo da miopatia. A redução do valor de a* após

120 dias de armazenamento, provavelmente, ocorreu devido à interação dos pigmentos com os produtos da oxidação lipídica (Kulkarni et al., 2011), promovendo a destruição da mioglobina.

3.2. pH, perda de peso por cozimento, porcentagem de retração e maciez

Houve interação significativa entre grau de severidade e período de armazenamento para as variáveis pH, perda de peso por cozimento (PPC) e porcentagem de retração (PR) em amostras de hambúrguer de frango (Tabela 3). Hambúrgueres produzidos com carne de frango acometida pela miopatia, apresentaram maior ($P < 0,0001$) pH do que hambúrgueres produzidos com carne de frangos classificados como normais. Houve efeito ($P < 0,0001$) do armazenamento sobre o pH de hambúrgueres produzidos com carne de peito, independente do acometimento pela miopatia, houve redução do valor de pH até 120 dias de armazenamento. Esses valores de pH elevados nos hambúrgueres produzidos com carne de frango acometidos pela miopatia peito de madeira indicam que houve influência do valor de pH da carne crua, porque a baixa glicólise apresentada após o abate em peito acometido com essa miopatia resulta um pH mais alto, portanto, o maior valor de pH da carne de frango com a miopatia peito de madeira pode ser responsável por uma baixa glicólise pós-mortem. Em detalhe, o pH final mais elevado encontrado em filés com a miopatia peito de madeira é, provavelmente, devido à diminuição do potencial glicolítico, do estado energético e de alterações nas vias metabólicas (Zambonelli et al. 2017; Beauclercq et al. 2017).

Hambúrgueres de amostras provenientes de frangos acometidos pela miopatia peito de madeira apresentaram maior perda de peso por cozimento e porcentagem de retração até os 60 dias de armazenamento do que hambúrgueres produzidos com carne de frangos considerado normal. Foi observado aumento da perda de peso por cozimento até os 60 dias e, após, redução da PPC até os 120 dias em todas as amostras. A porcentagem de retração aumentou até os 60 dias de armazenamento para hambúrgueres produzidos com peitos considerados normais e do grau moderado da miopatia peito de madeira, e após, reduziu a porcentagem de retração aos 120 dias. A porcentagem de retração de hambúrgueres produzidos com amostras do grau severo da miopatia peito de madeira reduziram até os 120 dias de armazenamento. A perda de peso por cocção de massas de carne é considerado uma das propriedades funcionais mais importantes dos produtos cárneos (Hayakawa et al. 2012). Qin (2013) relatou que não há diferenças na perda de cozimento de nuggets e salsichas de carne moída, compostas de até 100% de carne peito de

madeira e carne normal, independentemente da trituração da carne moída, concedendo à formação de uma mistura entre proteínas e gordura. Resultados semelhantes foram encontrados por Sanchez-Brambila et al. (2017), que avaliaram hambúrgueres produzidos com carnes de frango acometidos pela miopatia peito de madeira, e não encontraram influência na variável perda de peso por cocção. Os autores ainda sugerem que a moagem de filés acometidos pela miopatia peito de madeira pode reduzir a influência negativa da condição da miopatia na perda de cozimento de carne de peito. É relatado que, após o armazenamento, a perda de cozimento de carne acometida pela miopatia peito de madeira é maior que de peito normal (Tijare et al. 2016), por conta da menor capacidade de água. Estes resultados indicam que a miopatia peito de madeira tem um efeito negativo aumentando a perdas (PPC e PR) até 60 dias de armazenamento.

Houve interação ($P < 0,0001$) entre os fatores para a maciez em hambúrgueres de frango. Hambúrgueres de amostras de peito acometidas pelo grau severo da miopatia foram mais macios após 60 dias de armazenamento quando comparados com hambúrgueres produzidos com carnes normais e de grau moderado da miopatia peito de madeira. Durante o processo de armazenamento foi observada a redução da maciez em todas as amostras de hambúrgueres. Dentre todos os parâmetros, a maciez se destaca com grande importância para o consumidor (Nurul et al. 2010). A maior maciez observada em hambúrgueres feito com carne de peito com grau severo da miopatia peito de madeira nesta pesquisa pode ter sido causada por degeneração de fibra e redução no conteúdo de proteínas miofibrilares solúveis em sal (Mudalal et al. 2015).

Tabela 3. Valores médios de pH, perda de peso por cozimento (PPC), porcentagem de retração (PR) e dureza de hambúrgueres produzidos com carne de peito de frangos de corte Ross (AP95) acometidos com miopatia peito de madeira após diferentes períodos de armazenamento

		pH				
		GS (n=20)			P-valor	
A (n=20)	Normal	Moderado	Severo			
Início	5,847±0,005 ^{Ac}	5,972±0,005 ^{Ab}	5,997±0,005 ^{Aa}			
30 dias	5,656±0,005 ^{Db}	5,689±0,005 ^{Ea}	5,652±0,007 ^{Eb}	(GS)	<0,0001	
60 dias	5,716±0,005 ^{Cb}	5,807±0,005 ^{Ca}	5,795±0,005 ^{Ca}	(A)	<0,0001	
90 dias	5,714±0,005 ^{Cc}	5,791±0,005 ^{Da}	5,775±0,005 ^{Db}	(GS X A)	<0,0001	
120 dias	5,783±0,006 ^{Bb}	5,879±0,006 ^{Ba}	5,882±0,005 ^{Ba}			
		PPC (%)				
		GS (n=20)			P-valor	
A (n=20)	Normal	Moderado	Severo			
Início	28,51±0,64 ^{Dc}	32,58±0,57 ^{Cb}	38,44±0,57 ^{Ca}			
30 dias	32,86±0,62 ^{Cc}	38,61±0,57 ^{ABb}	40,16±0,57 ^{Ba}	(GS)	<0,0001	
60 dias	36,73±0,57 ^{Bc}	39,62±0,57 ^{Ab}	42,12±0,57 ^{Aa}	(A)	<0,0001	
90 dias	38,39±0,57 ^{Aa}	37,81±0,57 ^{Ba}	37,55±0,57 ^{Ca}	(GS X A)	<0,0001	
120 dias	17,31±0,51 ^{Da}	16,45±0,46 ^{Ea}	16,08±0,45 ^{Ca}			
		PR (%)				
		GS (n=20)			P-valor	
A (n=20)	Normal	Moderado	Severo			
Início	21,41±0,49 ^{Cc}	24,13±0,44 ^{Cb}	25,71±0,44 ^{Aa}			
30 dias	22,28±0,44 ^{BCb}	25,61±0,44 ^{Ba}	26,53±0,44 ^{Aa}	(GS)	<0,0001	
60 dias	22,97±0,44 ^{ABb}	26,89±0,44 ^{Aa}	26,50±0,44 ^{Aa}	(A)	<0,0001	
90 dias	23,86±0,45 ^{Aa}	22,65±0,44 ^{Da}	23,12±0,44 ^{Ba}	(GS X A)	<0,0001	
120 dias	17,31±0,51 ^{Da}	16,45±0,46 ^{Ea}	16,08±0,45 ^{Ca}			
		Dureza (N)				
		GS (n=20)			P-valor	
A (n=20)	Normal	Moderado	Severo			
Início	167,74±6,75 ^{Da}	161,45±6,75 ^{Da}	154,75±6,75 ^{Ca}			
30 dias	174,70±6,92 ^{Da}	190,05±6,75 ^{Ca}	188,00±6,75 ^{BCa}	(GS)	<0,0001	
60 dias	226,06±6,75 ^{Ca}	230,37±6,75 ^{Ba}	198,81±6,75 ^{ABb}	(A)	<0,0001	
90 dias	283,50±6,92 ^{Ba}	235,94±6,75 ^{Bb}	214,92±6,75 ^{Ac}	(GS X A)	<0,0001	
120 dias	401,50±8,37 ^{Aa}	289,40±7,32 ^{Ab}	171,82±6,92 ^{Cc}			

*Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem entre si pelo Teste de Tukey (P<0,05). A – Armazenamento, GS – Grau de severidade.

3.3. Perda de peso no armazenamento, atividade de água e oxidação lipídica

Houve interação significativa entre grau de severidade da miopatia peito de madeira e período de armazenamento para as variáveis perda de peso por armazenamento (PPA), atividade de água (Aw) e oxidação lipídica (TBARS) (Tabela 4). Os hambúrgueres produzidos

com carne afetada pelo grau severo da miopatia peito de madeira apresentaram maior ($P < 0,0001$) perda de peso por armazenamento (Tabela 4) aos 30, 90 e 120 dias, devido a menor capacidade de retenção de água apresentada na matéria-prima utilizada na produção dos hambúrgueres. A perda de peso no armazenamento em hambúrgueres aumentou de 1,56% (amostras normais) para 12,76% (acometidas pelo grau severo da miopatia). Hambúrgueres produzidos com carne do peito independente do acometimento pela miopatia, não preservaram os valores da atividade de água (A_w) durante os 120 dias de armazenamento sob congelamento. O armazenamento sob congelamento é o método indicado na preservação da qualidade dos produtos considerados perecíveis, pois estes alimentos apresentam maiores valores para atividade de água e quando submetidos ao processo de congelamento ocorre diminuição desses valores. Em hambúrgueres de frango, independente da ocorrência da miopatia ou não, foram verificados menores valores de atividade de água nos produtos que foram submetidos a congelamento, nos diferentes períodos de análise, diminuindo as chances de sofrer ação microbiana.

Hambúrgueres de frango produzidos com carne acometida com o grau severo da miopatia peito de madeira, em comparação com amostras de frangos normais, apresentaram menor variação nos valores de oxidação lipídica após 120 dias de congelamento. Hambúrgueres produzidos com peito acometido pelo grau severo da miopatia apresentaram uma variação de 1,69 mg MDA/kg a 4,09 mg MDA/kg, enquanto que em hambúrgueres produzidos com amostras normais, a oxidação variou de 2,32 mg MDA/kg a 9,31 mg MDA/kg no período de 120 dias de congelamento.

Campos et al. (2006) evidenciaram que os valores de TBARS devem situar-se entre 2 e 3 MDA/kg de produto, para que sabor e odor de rancidez sejam perceptíveis ao consumidor. O aumento nos valores de TBARS em produtos elaborados com carne de frango resulta da sua maior suscetibilidade à oxidação, por conter maior quantidade de ácidos graxos poli-insaturados. Nos hambúrgueres, os valores de TBARS aumentaram significativamente ao 120 dias de armazenamento em todos os tratamentos, provavelmente, devido à oxidação de ácidos graxos poli-insaturados (Mendes et al. 2008).

Tomando-se como valor máximo de 3 mg MDA/kg para percepção de rancidez, sugere-se um armazenamento sob congelamento por 60 dias para os hambúrgueres, produtos elaborados com peito normal e com graus moderado e severo da miopatia peito de madeira, sem que seja observada a ocorrência de rancidez. Soglia et al. (2016) reportaram valores

maiores de TBARS em peitos acometidos por peito de madeira, diferentemente do que foi observado nos hambúrgueres formulados com peitos acometidos com peito de madeira no presente estudo. Justifica-se este comportamento pelo fato de que os hambúrgueres são produtos heterogêneos, processados, moídos e adicionados de pele, diluindo assim o efeito da anomalia peito de madeira no processo de oxidação lipídica. Os resultados de TBARS deste estudo, também pode ser explicado pela atividade de água dos produtos (Tabela 4), onde a redução da atividade de água promove uma maior oxidação lipídica nos produtos.

Tabela 4. Valores médios de perda de peso por armazenamento (PPA), atividade de água (A_w) e oxidação lipídica (TBARS) de hambúrgueres produzidos com carne de peito de frangos de corte Ross (AP95) acometidos com miopatia peito de madeira após diferentes períodos de armazenamento)

		PPA (%)				
		GS (n=20)			P-valor	
A (n=20)	Normal	Moderado	Severo			
30 dias	0,15±0,26 ^{Cb}	0,73±0,26 ^{Cab}	1,10±0,29 ^{Ca}	(GS)		<0,0001
60 dias	0,91±0,30 ^{BCa}	1,72±0,30 ^{Ba}	1,57±0,30 ^{Ca}	(A)		<0,0001
90 dias	1,56±0,32 ^{Bb}	1,34±0,38 ^{BCb}	12,76±0,36 ^{Ba}	(GS X A)		<0,0001
120 dias	24,82±0,31 ^{Ab}	28,42±0,29 ^{Aa}	28,18±0,27 ^{Aa}			
		A_w				
		GS (n=20)			P-valor	
A (n=20)	Normal	Moderado	Severo			
Início	0,967±0,004 ^{Aa}	0,964±0,004 ^{Ba}	0,972±0,004 ^{Aa}			
30 dias	0,908±0,004 ^{Ca}	0,896±0,004 ^{Db}	0,906±0,004 ^{Cab}	(GS)		<0,0001
60 dias	0,962±0,004 ^{ABa}	0,952±0,004 ^{Ca}	0,954±0,004 ^{Ba}	(A)		<0,0001
90 dias	0,951±0,005 ^{Bb}	0,989±0,004 ^{Aa}	0,890±0,005 ^{Cc}	(GS X A)		<0,0001
120 dias	0,878±0,004 ^{Dab}	0,872±0,004 ^{Eb}	0,886±0,004 ^{Ca}			
		TBARS (mg MDA/kg Amostra)				
		GS (n=20)			P-valor	
A (n=20)	Normal	Moderado	Severo			
Início	2,32±0,12 ^{Ca}	1,84±0,12 ^{Cb}	1,69±0,12 ^{Cb}			
30 dias	2,12±0,12 ^{Ca}	1,89±0,12 ^{Ca}	1,99±0,12 ^{Ca}	(GS)		<0,0001
60 dias	1,68±0,12 ^{Db}	2,21±0,12 ^{Ba}	1,97±0,12 ^{Cab}	(A)		<0,0001
90 dias	4,64±0,16 ^{Bb}	5,93±0,13 ^{Aa}	3,12±0,12 ^{Bc}	(GS X A)		<0,0001
120 dias	9,31±0,16 ^{Aa}	6,12±0,18 ^{Ab}	4,09±0,12 ^{Ac}			

*Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$). Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem entre si pelo Teste de Tukey ($P<0,05$). A – Armazenamento, GS – Grau de severidade.

3.4. Composição química

O uso de carnes com direntes graus de severidade da miopatia peito de madeira não proporcionou efeito ($P>0,05$) sobre a concentração de matéria mineral de hambúrgueres de frango. Houve interação ($P<0,05$) entre o grau de severidade da miopatia peito de madeira e o período de armazenamento para as concentrações de proteína, gordura e umidade em hambúrgueres de frango (Tabela 5).

A umidade de hambúrgueres não apresentou variação significativa ($P=0,8786$) entre os graus de severidade nos cinco intervalos do armazenamento (Tabela 5). Houve redução da umidade de hambúrgueres após 60 dias, independente do acometimento da miopatia ou não. Em geral, todos os produtos perderam umidade durante o armazenamento devido a redução da atividade de água, o que explica a perda de peso (Tabela 4).

Hambúrgueres produzidos com amostras de frango com grau moderado e severo da miopatia peito de madeira apresentaram maiores concentrações lipídica e menores concentrações proteicas (30 dias de armazenamento) que hambúrgueres produzidos com amostras de frango normal. Houve aumento ($P<0,0001$) da concentração de gordura e redução da concentração proteica nos hambúrgueres produzidos com o grau moderado e severo da miopatia após 120 dias de armazenamento. A diferença na concentração proteica pode ser devida a sucessivas degenerações e regenerações do tecido muscular (desnaturação proteica) do peito de frango acometido pela miopatia peito de madeira (Soglia et al. 2016). A redução da concentração de proteínas musculares pode também estar associada a uma menor capacidade de retenção de água no peito de frango acometido pela miopatia peito de madeira (Petracci et al. 2013; Dalle Zotte et al. 2017). De acordo com Huff-Lonergan e Lonergan (2005) as mudanças na arquitetura intracelular por causa da hipertrofia provocada pela miopatia peito de madeira também pode influenciar na habilidade das células musculares em reter a água.

A maior oxidação lipídica (Tabela 4) observada em hambúrgueres de frango após 120 dias de armazenamento poderia ser resultado da maior concentração de lipídeos, e apesar do aumento da concentração de gordura em hambúrgueres após 120 dias de armazenamento, hambúrgueres produzidos com carne acometido pela miopatia peito de madeira sofreram menor oxidação lipídica comparada com amostras normais. Os acréscimos nos valores de TBARS dos hambúrgueres resultaram, provavelmente, das mudanças na estrutura da membrana proteica e da liberação de ferro da proteína transportadora, o qual reage com o oxigênio, acelerando assim,

a taxa de oxidação (Adeyemi e Olorunsanya, 2012). Com a redução da umidade de hambúrgueres ao longo do armazenamento, fez com que aumentasse a concentração lipídica e proteica de todas as amostras estudadas.

Tabela 5. Valores médios de umidade, gordura e proteína de hambúrgueres produzidos com carne de peito de frangos de corte Ross (AP95) acometidos com miopatia peito de madeira após diferentes períodos de armazenamento)

		Umidade (%)				
		GS (n=20)			P-valor	
A (n=20)	Normal	Moderado	Severo			
Início	72,71±0,28 ^{Aa}	72,07±0,28 ^{Aa}	72,80±0,30 ^{Aa}			
30 dias	72,09±0,28 ^{Aa}	71,73±0,28 ^{ABa}	72,48±0,28 ^{Aa}	(GS)	0,8786	
60 dias	71,03±0,28 ^{Ba}	71,50±0,30 ^{ABa}	70,67±0,36 ^{Ba}	(A)	<0,0001	
90 dias	70,82±0,28 ^{Ba}	70,92±0,28 ^{Ba}	69,26±0,30 ^{Ca}	(GS X A)	<0,0001	
120 dias	63,42±0,28 ^{Ca}	62,97±0,28 ^{Ca}	63,47±0,28 ^{Da}			
		Gordura (%)				
		GS (n=20)			P-valor	
A (n=20)	Normal	Moderado	Severo			
Início	4,45±0,21 ^{Db}	5,32±0,20 ^{Ca}	5,26±0,20 ^{CDa}			
30 dias	4,85±0,20 ^{CDc}	6,17±0,21 ^{Ba}	5,53±0,20 ^{Cb}	(GS)	<0,0001	
60 dias	5,26±0,20 ^{BCa}	4,94±0,24 ^{Ca}	4,69±0,23 ^{Da}	(A)	<0,0001	
90 dias	5,67±0,23 ^{Bb}	5,35±0,21 ^{Cb}	7,08±0,26 ^{Ba}	(GS X A)	<0,0001	
120 dias	7,02±0,20 ^{Ac}	7,61±0,21 ^{Ab}	8,37±0,20 ^{Aa}			
		Proteína (%)				
		GS (n=20)			P-valor	
A (n=20)	Normal	Moderado	Severo			
Início	16,16±0,69 ^{Ca}	17,46±0,69 ^{CDa}	16,81±0,73 ^{Ca}			
30 dias	19,63±0,69 ^{Ba}	18,27±0,73 ^{Ca}	16,17±0,73 ^{CDb}	(GS)	0,0319	
60 dias	15,64±0,69 ^{Ca}	15,74±0,73 ^{Da}	14,23±0,69 ^{Da}	(A)	<0,0001	
90 dias	18,94±0,77 ^{Bb}	21,49±0,73 ^{Ba}	21,29±0,73 ^{Ba}	(GS X A)	0,0159	
120 dias	27,91±0,77 ^{Aa}	29,59±0,77 ^{Aa}	28,17±0,69 ^{Aa}			

*Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem entre si pelo Teste de Tukey (P<0,05). A – Armazenamento, GS – Grau de severidade.

3.5. Avaliação sensorial

Os Hambúrgueres não apresentaram diferenças perceptíveis para os avaliadores na análise sensorial (Tabela 6). Dentre os cinco atributos avaliados, apenas a “aparência” apresentou diferença significativa (P=0,01) entre as três formulações, sendo que o hambúrguer feito com peito de frango acometido pelo grau severo da miopatia peito de madeira apresentou melhor aparência em relação aos hambúrgueres feitos com peito de frango normal e moderado.

Tabela 6. Valores médios das características sensoriais de hambúrgueres de frango advindas do músculo peitoral maior de frangos de corte Ross acometidos com miopatia Peito de Madeira (WB)

	Normal	Moderado	Severo	P-valor
Aparência	6,36±0,15 ^b	6,55±0,14 ^b	6,97±0,14 ^a	0,010
Aroma	7,46±0,12	7,26±0,13	7,31±0,13	0,5021
Sabor	7,67±0,11	7,60±0,13	7,61±0,13	0,8848
Textura	6,95±0,16	7,24±0,16	7,31±0,15	0,2289
Aceitação global	7,26±0,13	7,28±0,13	7,42±0,13	0,6313

*Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na mesma linha, são significativamente diferentes pelo Teste de Tukey (P<0,05).

Os resultados da análise sensorial demonstraram potencial de utilização do peito de frango acometido pela miopatia peito de madeira na elaboração de hambúrgueres, uma vez que os provadores não foram capazes de detectar as diferenças nas características sensoriais destes produtos elaborados com o peito de frango normal e com os graus moderado e severo da miopatia peito de madeira.

Os parâmetros avaliados na análise sensorial (Tabela 6), com provadores não treinados, não apresentaram diferenças significativas (P>0,05). Os índices para os parâmetros de aparência, aroma, sabor, textura e aceitação global foram superiores a 60%, indicando que os hambúrgueres foram aceitos sensorialmente na faixa maior do “gostei ligeiramente”. Para o sabor todos os hambúrgueres tiveram uma boa aceitação global, pontuadas positivamente em 7,63 (gostei muito). A diferença entre as amostras de hambúrgueres para a aparência, apesar de perceptível para provadores não treinados, apresentou um bom índice de aceitação, sendo superior a 63% para as três formulações de hambúrgueres.

4. Conclusões

Hambúrgueres elaborados com carne de frango acometido pela miopatia peito de madeira apresentaram mesma redução de atividade de água com o armazenamento que influência na carga microbiana dos alimentos e mesma concentração proteica que hambúrgueres produzidos com carne de frango normal. A matéria-prima utilizada em hambúrgueres produzidos com carne acometida com peito de madeira afetou a qualidade física das amostras provocando maior luminosidade, intensidade de vermelho, intensidade de amarelo, pH e PPC. Embora hambúrgueres produzidos com carne de frango acometido pelo

peito de madeira apresentaram maior estabilidade oxidativa, o armazenamento afetou os parâmetros de qualidade desses hambúrgueres.

5. Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, 2017/5754-4) pelo auxílio à pesquisa concedido.

6. Conflitos de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesse

7. Referências

Adeyemi, K.D., & Olorunsanya, A.O. (2012). Comparative analysis of phenolic composition and antioxidant effect of seed coat extracts of four cowpea (*Vigna unguiculata*) varieties on broiler meat. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 2(4), 343-349.

AOAC (2011) *Official methods of analysis*. (18th edn.) (Association of Analytical Chemists: Washington, DC).

Beauclercq, S., Hennequet-Antier, C., Praud, C., Godet, E., Collin, A., Tesseraud, S., & Berri, C. (2017). Muscle transcriptome analysis reveals molecular pathways and biomarkers involved in extreme ultimate pH and meat defect occurrence in chicken. *Scientific Reports*, 7, 6447.

Bligh, E.G., & Dyer, W.J. (1959). A rapid method for total lipid extraction and purification. *Canadian journal of biochemistry and physiology*, 37, 911 - 917.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2003). *Instrução normativa nº 62, de 26 de agosto de 2003. Oficializar os Métodos Analíticos Oficiais para Análises Microbiológicas para Controle de Produtos de Origem Animal e Água*. Secretaria de Defesa Agropecuária, Brasil, 1-194.

Campos, M.M., Nute, G.R., Hughes, S.I., Enser, M., Wood, J.D., & Richardson, R.I. (2006). Flavour perception of oxidation in beef. *Meat Science*, 72(2), 303-311.

- Dalle Zotte, A., Tasoniero, G., Puollanne, E., Remignon, H., Cecchinato, M., Catelli, E., & Cullere, M. (2017). Effect of “Wooden Breast” Appearance on Poultry Meat Quality, Histological Traits, and Lesions Characterization. *Animal Science*, 62(2), 51-57.
- Hayakawa, T., Yoshida, Y., Yasui, M., Ito, T., Iwasaki, T., Wakamatsu, J., Hattori, A., & Nishimura, T. (2012). Heat-induced gelation of myosin in a low ionic strength solution containing L-histidine. *Meat Science*, 90, 77–80.
- Huff-Lonergan, E., & Lonergan, S.M. (2005). Mechanisms of water-holding capacity of meat: the role of post mortem biochemical and structural changes. *Meat Science*, 79(1), 194-204.
- Kozačins, L., Fleck, Ž.C., Filipović, I., Mitak, M., Bratulić, M., & Mikuš, T. (2012). Evaluation of shelf life of pre-packed cut poultry meat. *Veterinarski Archiv*, 82 (1), 47-58.
- Kulkarni, S., De Santos, F. A., Kattamuri, S., Rossi, S. J., & Brewer, M. S. (2011). Effect of grape seed extract on oxidative, color and sensory stability of a precooked, frozen, re-heated beef sausage model system. *Meat Science*, 88(1), 139–144.
- Kuttappan, V.A., Hargis, B.M., & Owens, C.M. (2016). White striping and woody breast myopathies in the modern poultry industry: a review. *Poultry Science*, 95, 2724–2733.
- Mello, J.L.M., Souza, R.A., Paschoalin, G.C., Ferrari, F.B., Machado, B.M., Giampietro-Ganeco, A., Souza, P.A., & Borba, H. (2017). A comparison of the effects of post-mortem aging on breast meat from Cobb 500 and Hubbard ISA broilers. *Animal Production Science*, 58, 1922-1931.
- Mendes, R., Pestana, C., & Gonçalves, A. (2008). The effects of soluble gas stabilisation on the quality of packed sardine fillets (*Sardina pilchardus*) stored in air, VP and MAP. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(11), 2000–2009.
- Mudalal, S., Lorenzi, M., Soglia, F., Cavani, C., & Petracci, M. (2015). Implications of white striping and wooden breast abnormalities on quality traits of raw and marinated chicken meat. *Animal*, 9 (4), 728–734.
- Nurul, H., Lin, O.J., Ping, Y.C., Nurkhoeriyati, T. (2010). Effect of chicken and duck meat ratio on the properties of sausage. *International Journal of Poultry Science*, 9(6), 550-555.
- Petracci, M., & Cavani, C. (2012). Muscle growth and poultry meat quality issues. *Nutrients*, 4, 1 –12.
- Petracci, M., Mudalal, S., Bonfiglio, A., & Cavani, C. (2013). Occurrence of white striping and its impact on breast meat quality in broiler chickens. *Poultry Science*, 92(6), 1670-1675.

- Qin, N. (2013). *The Utilization of Poultry Breast Muscle of Different Quality Classes*. Department of Food and Environmental Science, University of Helsinki.
- Sánchez-Brambila, G., Bowker, B.C., & Zhuang, H. (2016). Comparison of sensory texture attributes of broiler breast fillets with different degrees of white striping. *Poultry Science*, 95, 2472–2476.
- SAS Institute Inc. (2002–2003) 'SAS version 9.4.' (SAS Institute Inc: Cary, NC)
- Soglia, F., Laghi, L., Canonico, L.C., Cavani, C., & Petracci, M. (2016) Functional property issues in broiler breast meat related to emerging muscle abnormalities. *Food Research International*, 89 (3), 1071-1076.
- Soglia, F., Mudalal, S., Babini, E., Di Nunzio, M., Mazzoni, M., Sirri, F., Cavani, C., & Petracci, M. (2016). Histology, composition, and quality traits of chicken Pectoralis major muscle affected by wooden breast abnormality. *Poultry Science*, 95, 651–659.
- Stangierski, J. & Lesnierowski, G. (2015). Nutritional and health-promoting aspects of poultry meat and its processed products. *World's Poultry Science Journal*, 71(1), 71–82.
- Tijare, V.V., Yang F.L., Kuttappan V.A., Alvarado, C.Z., Coon, C.N., & Owens, C.M. (2016). Meat quality of broiler breast fillets with white striping and woody breast muscle myopathies. *Poultry Science*, 95, 2167–2173.
- Vyncke, W. (1970) Direct determination of the thiobarbituric acid value in trichloroacetic acid extracts of fish as a measure of oxidative rancidity. *Fette, Seifen, Anstrichmittel*, 72, 1084–1087.
- Zambonelli, P., Zappaterra, M., Soglia, F., Petracci, M., Sirri, F., Cavani, C., & Davoli, R. (2017). Detection of differentially expressed genes in broiler pectoralis major muscle affected by White Striping – Wooden Breast myopathies. *Poultry Science*, 95, 2771–2785.