



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**CARACTERIZAÇÃO DO MÚSCULO *PECTORALIS MAJOR* DE  
FRANGOS DE CORTE COM A MIOPATIA *WOODEN BREAST***

ANDREY SÁVIO DE ALMEIDA ASSUNÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

Área de Concentração: Produção Animal.

Dourados – MS

Janeiro de 2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**CARACTERIZAÇÃO DO MÚSCULO *PECTORALIS MAJOR* DE  
FRANGOS DE CORTE COM A MIOPATIA *WOODEN BREAST***

ANDREY SÁVIO DE ALMEIDA ASSUNÇÃO

Zootecnista

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Garófallo Garcia

Co-orientadores: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Claudia Marie Komiyama

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Fabiana Ribeiro Caldara

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Zootecnia da Universidade Federal da Grande  
Dourados, como parte das exigências para obtenção do  
título de Mestre em Zootecnia.

Área de Concentração: Produção Animal.

Dourados – MS

Janeiro de 2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

A851c Assuncao, Andrey Savio De Almeida  
CARACTERIZAÇÃO DO MÚSCULO PECTORALIS MAJOR DE FRANGOS DE CORTE  
COM A MIOPATIA WOODEN BREAST: Dourados, MS: UFGD, 2019. 95f. [recurso eletrônico] /  
Andrey Savio De Almeida Assuncao. -- 2019.  
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Garófallo Garcia.  
Coorientadoras: Profª. Drª. Claudia Marie Komiyama, Profª. Drª. Fabiana Ribeiro Caldara.  
Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2019.  
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:  
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Colágeno. 2. Força de cisalhamento. 3. Histologia. 4. Lesões musculares. 5. Peito amadeirado.  
I. Garcia, Prof. Dr. Rodrigo Garófallo. II. Komiyama, Profª. Drª. Claudia Marie. III. Caldara, Profª.  
Drª. Fabiana Ribeiro. IV. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

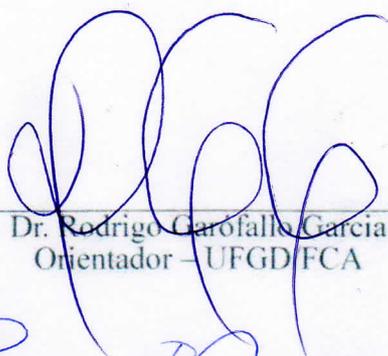
**CARACTERIZAÇÃO DO MÚSCULO *Pectoralis major* DE FRANGOS DE  
CORTE COM A MIOPATIA *Wooden breast***

por

**ANDREY SÁVIO DE ALMEIDA ASSUNÇÃO**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título  
de MESTRE EM ZOOTECNIA

Aprovada em: 25/01/2019



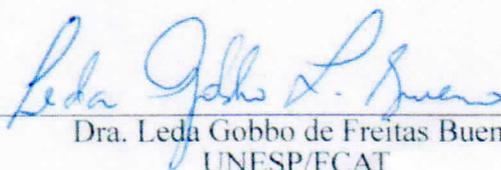
---

Dr. Rodrigo Carófallos Garcia  
Orientador - UFGD/FCA



---

Dra. Fabiana Ribeiro Caldara  
UFGD/FCA



---

Dra. Leda Gobbo de Freitas Bueno  
UNESP/FCAT

**À minha mãe, Silnéia Gonçalina de Almeida**

**Dedico.**

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela saúde, cuidado constante e força em todos os momentos difíceis.

À Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), especialmente a Faculdade de Ciências Agrárias (FCA), pela oportunidade de realização deste curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao prof. Dr. Rodrigo Garófallo Garcia pela orientação, amizade, oportunidades, ensinamentos, pelos diálogos, atenção, e principalmente por ter me permitido realizar o curso sob sua orientação.

À prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Claudia Marie Komiyama pela co-orientação, amizade, ensinamentos e conhecimentos adquiridos, principalmente nos momentos em que sanou minhas dúvidas de forma carismática e atenciosa.

À Pós-doutoranda Érika Rosendo de Sena Gandra pela ajuda, histórias engraçadas, colaboração e amizade ao longo deste curso.

À prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fabiana Ribeiro Caldara pelos ensinamentos e visão profissional.

À minha mãe, pela educação, amor, carinho, coragem, força, dedicação e ajuda em todos os momentos. Tudo que sou é graças à senhora.

À minha companheira, amiga e namorada, Renata. Pelo amor, atenção, carinho e por todos os momentos felizes que passamos juntos.

Ao meu amigo e padraсто Simão, pela ajuda, carinho e pelos momentos divertidos.

Às minhas irmãs, Andressa e Andrielly, das brincadeiras e recordações alegres.

Aos sobrinhos João Pedro e Erik, pela alegria que contagiavam os momentos de lazer.

À minha madrinha, pela confiança e demonstração de fé inabalável.

Aos tios (Manoel e Nei), tias (Benedita, Sebastiana e Marinei), primos e primas pela presença constante.

Aos colegas que ganhei e que tornaram o ambiente de estudos mais agradável: Thaís Lemos, Thaiano, Fernando, Carla, Geysane, Ray e Natália.

Ao Núcleo de Pesquisa em Nutrição e Produção de Monogástrico composto pelos integrantes Welligton Santos, Eliéser, Jaqueline Murback, Jacqueline Rosa, Rafael,

Erique Ferreira, João Paulo, Vanessa Fukuda, Agnês, Bruna, Vivian e Kelly, pelas reuniões de estudo, dedicação e ajuda durante a realização dos experimentos.

Ao funcionário do aviário experimental da UFGD Sr. Alfredo, dos bate-papos, brincadeiras e risadas descontraídas ao longo dos experimentos.

Aos técnicos de Laboratório Adriana Sathie, João, Camila e Taiany, pelo apoio durante a realização das análises deste experimento.

À empresa BRF S.A. e toda sua equipe pelo fornecimento de amostras de carne para a realização desta pesquisa.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia e funcionários da FCA que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste curso.

**MUITO OBRIGADO!**

*“Os sonhos abrem as janelas da vida. Assim, você a enxerga com outro ângulo”.*

*Augusto Cury.*

*“Se não puder voar, corra. Se não puder correr, ande. Se não puder andar, rasteje,  
mas continue em frente de qualquer jeito”.*

*Martin Luther King.*

## SUMÁRIO

<b>1 RESUMO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 ABSTRACT .....</b>	<b>2</b>
<b>3 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....</b>	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>5</b>
<b>4 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
4.1 Estrutura e função do tecido muscular.....	6
4.2 Contração muscular .....	13
4.3 Conversão do músculo em carne .....	15
4.4 Qualidade da carne.....	16
4.4.1 Aparência e Cor.....	17
4.4.2 pH.....	19
4.4.3 Textura e Maciez.....	20
4.4.4 Capacidade de retenção de água (CRA).....	23
4.4.5 Colágeno.....	24
4.4.6 Avaliação sensorial .....	28
4.5 Anormalidades no músculo do peito ( <i>Pectoralis major</i> ) de frangos de corte .....	29
4.5.1 <i>Wooden breast</i> .....	30
4.5.2 Miopatia peitoral profunda.....	34
4.5.3 <i>White striping</i> .....	35
4.5.4 <i>Spaghetti meat</i> .....	37
5 Referências Bibliográficas .....	38
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>46</b>
<b>6 A MIOPATIA <i>WOODEN BREAST</i> EM FILÉS DE PEITO DE FRANGO IMPACTA NA QUALIDADE E PREFERÊNCIA DOS CONSUMIDORES .....</b>	<b>46</b>
6.1 Resumo .....	47
6.2 Implicações .....	48
6.3 Introdução .....	48
6.4 Material e Métodos .....	50
6.5 Resultados .....	59
6.6 Discussão .....	66
6.7 Conclusão.....	76
6.8 Agradecimentos .....	77
6.9 Referências.....	77
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>82</b>

**LISTA DE ABREVIATURAS**

<b>ABPA</b>	Associação Brasileira de Proteína Animal
<b>ACh</b>	Acetilcolina
<b>ADP</b>	Adenosina difosfato
<b>ATP</b>	Adenosina trifosfato
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	Cálcio
<b>CE</b>	Capacidade emulsionante
<b>CRA</b>	Capacidade de retenção de água
<b>DL</b>	<i>Drip loss</i>
<b>EUA</b>	Estados Unidos da América
<b>FC</b>	Força de cisalhamento
<b>IFM</b>	Índice de fragmentação miofibrilar
<b>MEC</b>	Macromoléculas da matriz extracelular
<b>MPP</b>	Miopatia peitoral profunda
<b>Na<sup>+</sup></b>	Sódio
<b>PGs</b>	Proteoglicanos
<b>Pi</b>	Fosfato inorgânico
<b>PPD</b>	Perdas por descongelamento
<b>PPC</b>	Perdas de peso por cozimento
<b>RS</b>	Retículo sarcoplasmático
<b>SM</b>	<i>Spaghetti meat</i>
<b>SIF</b>	Serviço de inspeção federal
<b>SNC</b>	Sistema nervoso central
<b>Valor L*</b>	Luminosidade
<b>Valor a*</b>	Teor de vermelho
<b>Valor b*</b>	Teor de amarelo
<b>WS</b>	<i>White striping</i>
<b>WB</b>	<i>Wooden breast</i>

## ÍNDICE DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

**Tabela 1.** Principais proteínas do músculo e sua porcentagem relativa no músculo úmido (19% de proteína bruta total)..... 10

**Tabela 2.** Características dos colágenos tipo I e III encontrados no tecido conjuntivo. 27

### CAPÍTULO 2

**Tabela 1.** Medidas morfométricas de filés de peito de frango com diferentes graus de miopatia ..... 59

**Tabela 2.** Efeito dos graus de severidade da miopatia WB nas propriedades qualitativas da carne de filés de peito de frangos..... 62

**Tabela 3.** Efeito dos graus de severidade da miopatia WB na composição química da carne de filés de peito de frangos ..... 63

**Tabela 4.** Efeito dos graus de severidade da miopatia WB nos atributos sensoriais da carne de filés de peito de frangos ..... 64

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

<b>Figura 1.</b> Representação da estrutura muscular .....	8
<b>Figura 2.</b> Estrutura da miofibrila .....	9
<b>Figura 3.</b> Organização da miosina e actina no músculo relaxado .....	9
<b>Figura 4.</b> Escores de <i>wooden breast</i> em filés de peito de frangos de corte .....	31
<b>Figura 5.</b> Histomorfologia do músculo peitoral de frangos de corte normais (A) e com <i>wooden breast</i> (B) .....	31
<b>Figura 6.</b> Miopatia peitoral profunda em filés de frangos de corte .....	35
<b>Figura 7.</b> Escore de <i>white striping</i> em filés de peito de frangos de corte.....	36
<b>Figura 8.</b> Carne espaguete em filés de frangos de corte .....	38

### CAPÍTULO 2

<b>Figura 1.</b> Esquema representativo das medidas morfométricas e análises qualitativas dos filés de frangos de corte nas proções ventral e dorsal .....	53
<b>Figura 2.</b> Classificação visual dos músculos <i>Pectoralis major</i> crus e cozidos de frangos de corte em três graus de severidade: Normal, Moderada e Severa .....	60
<b>Figura 3.</b> Preferência de consumo dos avaliadores de acordo com o grau de severidade da miopatia WB .....	65
<b>Figura 4.</b> Fotomicrografias representativas dos filés de frangos de corte baseado no grau de severidade da miopatia <i>wooden breast</i> : normal (A), moderada (B) e severa (C).....	66

## 1 RESUMO

ASSUNÇÃO, A.S.A. **Caracterização do músculo *Pectoralis major* de frangos de corte com a miopatia *wooden breast***. 2019. 95p. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados.

Objetivou-se com este trabalho avaliar os atributos qualitativos, sensoriais e a morfometria das fibras musculares em filés de peito de frangos de corte associado com o grau de severidade da miopatia *wooden breast*. 300 filés foram classificados em três graus de severidade: normal, moderado e severo em frigorífico comercial. Foram avaliadas as medidas morfométricas, atributos qualitativos da carne, composição química, características sensoriais e morfologia das miofibras. Filés acometidos por miopatia moderada e severa apresentaram maiores pesos ( $P<0,001$ ) em relação aos filés normais. A altura do segmento cranial ( $P<0,01$ ) aumentou e o comprimento ( $P<0,001$ ) diminuiu conforme o grau de severidade. Os filés com grau severo de miopatia apresentaram maiores teores ( $P<0,05$ ) de vermelho ( $a^*$ ), amarelo ( $b^*$ ) e pH final ( $P<0,001$ ). As perdas por gotejamento e cozimento foram maiores nos filés com grau moderado ( $P<0,05$ ) e severo ( $P<0,001$ ) quando comparados aos filés normais. Por outro lado, a menor ( $P<0,05$ ) força de cisalhamento e o maior ( $P<0,05$ ) índice de fragmentação miofibrilar foi observado em filés acometidos por miopatia severa quando comparado aos filés normais. Filés com grau severo apresentaram maior umidade ( $P<0,001$ ) em relação aos filés normais e com grau moderado. Os teores de cinzas ( $P<0,001$ ) diminuíram e os teores de colágeno e a relação colágeno/proteína ( $P<0,001$ ) aumentaram conforme o grau de severidade. A proteína bruta foi menor ( $P<0,001$ ) e os teores de lipídeos e a relação lipídeos/Proteína ( $P<0,001$ ) foram maiores nos filés acometidos por miopatia moderada e severa quando comparados aos filés normais. O parâmetro sabor ( $P<0,05$ ) foi melhor evidenciado pelos provadores nos filés acometidos pela miopatia severa quando comparado aos filés normais e com grau moderado. Além disso, filés com grau moderado e severo apresentaram melhor maciez ( $P<0,001$ ) e mastigabilidade ( $P<0,05$ ) quando comparados aos filés normais. A suculência ( $P<0,05$ ) e a preferência ( $P<0,005$ ) dos provadores aumentaram de acordo com o grau de severidade da miopatia. Filés acometidos por miopatia moderada e severa de WB afetaram não apenas a aparência, mas também as características qualitativas e químicas da carne e os provadores conseguiram diferenciar as propriedades sensoriais da carne de peito.

**Palavras-chave:** colágeno, força de cisalhamento, histologia, lesões musculares, peito amadeirado

## 2 ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the qualitative, sensorial and morphometric attributes of the muscle fibers of broilers associated with the degree of severity of wooden breast myopathy. 300 fillets were classified into three degrees of severity: normal, moderate and severe in commercial refrigerator. The morphometric measurements, qualitative attributes of the meat, chemical composition, sensorial characteristics and morphology of myofibers were evaluated. Fillets with moderate and severe myopathy showed higher weights ( $P < 0,001$ ) in relation to normal fillets. The height of the cranial segment ( $P < 0,01$ ) increased and the length ( $P < 0,001$ ) decreased according to the degree of severity. The fillets with severe degree of myopathy showed higher levels ( $P < 0,05$ ) of red ( $a^*$ ), yellow ( $b^*$ ) and ultimate pH ( $P < 0,001$ ). Drip loss and cooking were higher in fillets with moderate ( $P < 0,05$ ) and severe ( $P < 0,001$ ) degree when compared to normal fillets. On the other hand, the lowest ( $P < 0,05$ ) shear force and the highest ( $P < 0,05$ ) myofibrillar fragmentation index were observed in fillets affected by severe myopathy when compared to normal fillets. Fillets with severe degree presented more moisture ( $P < 0,001$ ) in relation to normal fillets and moderate degree. Ash content ( $P < 0,001$ ) decreased and the levels of collagen and collagen/protein ratio ( $P < 0,001$ ) increased as the degree of severity. Crude protein was lower ( $P < 0,001$ ) and the levels of lipids and lipid/Protein ratio ( $P < 0,001$ ) were higher in fillets affected by moderate and severe myopathy when compared to normal fillets. The flavor parameter ( $P < 0,05$ ) was better evidenced by the tasters in fillets affected by severe myopathy when compared to normal fillets and moderate degree. In addition, fillets with moderate and severe degree presented better tenderness ( $P < 0,001$ ) and chewiness ( $P < 0,05$ ) when compared to normal fillets. Juiciness ( $P < 0,05$ ) and the preference ( $P < 0,005$ ) of tasters have increased according to the degree of severity of myopathy. Fillets with moderate and severe myopathy of WB affected not only the appearance but also the qualitative and chemical characteristics of the meat and the tasters were able to differentiate the sensory properties of the breast meat.

**Keywords:** collagen, histology, muscle lesions, shear force, wooden breast

### 3 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Impulsionada pelo consumidor, a indústria avícola tornou-se um mercado em constante evolução e desenvolvimento, o que proporcionou maiores eficiências tanto no desempenho produtivo quanto na planta de processamento, selecionando aves com base no rápido crescimento e no alto rendimento de músculo (Berri et al., 2007; Mehaffey et al., 2006).

No *ranking* mundial, o Brasil é o maior exportador de carne de frango e o segundo maior produtor, atrás dos Estados Unidos da América (EUA), seguido pela União Europeia (UE), China e Índia (Associação Brasileira de Proteína Animal - ABPA, 2018). A eficiência do frango de corte moderno é reflexo dos avanços em pesquisas relacionadas a nutrição, sanidade, ambiência, manejo e principalmente à seleção genética (Havenstein; Ferket; Qureshi, 2003). Dessa forma, esta eficiência envolve aumentos importantes no rendimento do músculo do peito (*Pectoralis major*) e destaca-se pela alta produtividade reconhecida mundialmente.

A evolução da produtividade, uniformidade e do processamento da carne de aves permitiu que os consumidores mudassem, nos últimos anos, sua preferência de compra. Houve aumento notável na demanda por carne de frango devido ao seu baixo preço, adequado perfil nutricional e facilidade de preparo. Essa demanda crescente pela carne de frango, portanto, pressionou os produtores e empresas avícolas a aumentarem a taxa de crescimento, eficiência alimentar, tamanho do músculo do peito e na redução da gordura abdominal, os quais resultaram em alterações das fibras musculares dos frangos (Petracci et al., 2015; Petracci; Cavani, 2012; Sams, 1999).

A seleção genética no setor avícola, ao longo dos anos, proporcionou maiores taxas de crescimento muscular. Este crescimento positivo, no entanto, foi capaz de induzir anormalidades morfológicas, maior proporção de fibras glicolíticas, favoreceu maior diâmetro e área transversal das fibras musculares, além de menor potencial proteolítico nos músculos (Berri et al., 2007; Dransfield; Sosnicki, 1999). Outro aspecto foi a alteração da regulação dos cátions ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$  e  $\text{Ca}^{++}$ ) nas fibras musculares e com isso o desenvolvimento de problemas patológicos e tecnológicos da carne (Sandercock et al., 2009). Portanto, entender como essas alterações afetam o metabolismo *post mortem* pode elucidar questões acerca da qualidade final da carne (Lee; Joo; Ryu, 2010).

Bailey et al. (2015) indicaram que a seleção genética para aumento do rendimento de peito favoreceu o aparecimento de anormalidades ou miopatias que

causam lesões no músculo do peito de frangos de corte da atualidade, tais como a miopatia peitoral profunda, *white striping*, *wooden breast* e *spaghetti meat*. Em virtude de sua aparência e de seus atributos qualitativos inferiores, essas anormalidades geralmente são limitadas pela indústria de carne de aves e utilizados para fabricação de produtos processados, por exemplo *nuggets* e salsichas (Baldi et al., 2018; Petracci et al., 2015).

Embora sejam capazes de proporcionar condenações nas carcaças inteiras ou de suas partes e gerar perdas econômicas (Kuttappan; Hargis; Owens, 2016; Zanetti et al., 2018) as miopatias não são problema de segurança alimentar, mas sim uma questão de qualidade do produto (Bailey et al., 2015). Contudo, essas miopatias podem impactar o comportamento de compra dos consumidores (Kuttappan et al., 2012a), tornando importante a compreensão dos efeitos exercido pela ocorrência destas anormalidades nas características de qualidade da carne.

Pelo exposto, o objetivo do presente estudo foi avaliar os atributos qualitativos, sensoriais e a morfologia das fibras musculares em filés de peito (*Pectoralis major*) de frangos de corte, com diferentes graus de severidade associado com a miopatia *wooden breast*. A dissertação encontra-se dividida em dois capítulos. No capítulo 1 apresenta-se uma Revisão de Literatura abordando os temas: estrutura e função do tecido muscular, contração muscular, conversão do músculo em carne, qualidade da carne e anormalidades no músculo do peito de frangos de corte, redigido de acordo com as normas do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD. O capítulo 2, intitulado “A miopatia *wooden breast* em filés de peito de frango impacta na qualidade e preferência dos consumidores”, apresenta os resultados do presente estudo e encontra-se redigido conforme as normas da revista *Animal* (Cambridge, Online).

**CAPÍTULO 1**  
**4 REVISÃO DE LITERATURA**

#### 4.1 Estrutura e função do tecido muscular

Os músculos dos animais domésticos são classificados em músculo estriado esquelético, estriado cardíaco (exclusivo do coração) e músculo liso (Bacila, 2003; Klein; Cunningham, 2014; Purslow, 2017; Samuelson, 2007). Esta classificação está relacionada com as principais funções básicas realizadas pelo músculo no animal vivo, como por exemplo, a movimentação, o bombeamento sanguíneo e as atividades involuntárias, respectivamente. O músculo estriado esquelético de uma ave adulta selecionado para produzir carne corresponde em torno de 35 a 65% do peso da carcaça e de, aproximadamente, 40 a 50% da massa corporal média (Aberle et al., 2001; Barbut, 2015; Gomide; Ramos; Fontes, 2013).

De acordo com Velleman (2015), alterações na estrutura morfológica do músculo podem afetar as propriedades tecnológicas da carne, uma vez que a sua qualidade é reflexo da estrutura morfológica e da biologia celular do músculo. Desta forma, compreender a estrutura e os principais componentes do músculo é de importância fundamental para o entendimento dos eventos bioquímicos que acontecem durante a transformação do músculo em carne, bem como para a seleção de animais visando a melhoria na produção de carne e sua respectiva qualidade final, especialmente para a indústria avícola (Joiner et al., 2014; Madeira et al., 2006, 2011; Silva; Carvalho, 2007).

Fixados por tendões aos ossos, os músculos esqueléticos são responsáveis pela sustentação e movimentação do animal e atuam perante a contração voluntária, controlada de forma parcial ou total, através do controle realizado pelo Sistema Nervoso Central (SNC) (Barbut, 2015; Gomide; Ramos; Fontes, 2013). A unidade de organização estrutural do músculo esquelético é realizada por células fibrosas, multinucleadas e altamente especializadas, denominadas de fibras musculares ou miofibras, que compreendem de 75 a 90% do volume total do tecido muscular, ao mesmo tempo que os vasos sanguíneos, tecido conjuntivo, fluidos extracelulares e nervos compõem o volume restante de 10 a 25% (Lee; Joo; Ryu, 2010; Vieira et al., 2017).

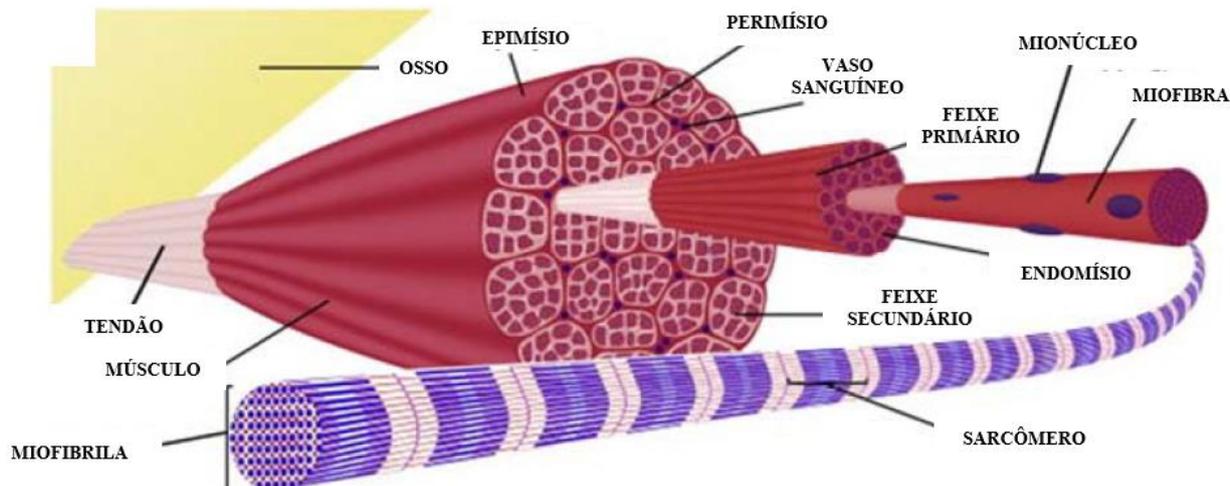
De forma semelhante às demais células do organismo, as fibras musculares possuem uma membrana citoplasmática chamada de sarcolema, responsável pela permeabilidade seletiva e um citoplasma semifluido designado de sarcoplasma (Bacila, 2003; Purslow, 2017; Vieira et al., 2017). As fibras musculares são células longas, cilíndricas e não ramificadas que normalmente têm o diâmetro variando de 5 a 100  $\mu\text{m}$  e comprimento de 10 a 30 cm, constituídas por estruturas cilíndricas, longas e finas de 1 a

2  $\mu\text{m}$  de diâmetro, nomeadas de miofibrilas (Bailey, 2006; Samuelson, 2007; Silva; Carvalho, 2007).

O sistema muscular é composto por células que unem e sustentam a função muscular recoberto por uma rede que envolve os músculos e as fibras musculares, denominado de tecido conectivo, conhecido também como tecido conjuntivo fibroso, tecido conjuntivo propriamente dito ou tecido conjuntivo intramuscular (Barbut, 2015). No músculo, as fibras musculares organizam-se em feixes ou fascículos secundários (entre 50 a 300 miofibrilas) circundados por uma camada de tecido conjuntivo, o perimísio. No interior de cada feixe muscular, as fibras são organizadas em feixes primários e, individualmente, separadas pela camada de tecido conjuntivo denominado de endomísio (Clark; Harding, 2017; Warner, 2016). Desta forma, a camada de tecido conjuntivo que recobre todos os feixes, ou seja, o músculo inteiro, recebe o nome de epimísio (Figura 1).

Embora a integridade do músculo esquelético seja mantida por essas três camadas (endomísio, perimísio e o epimísio), o tecido conjuntivo intramuscular é composto por macromoléculas da matriz extracelular (MEC), como colágenos, proteoglicanos (PGs) e glicoproteínas. Essas macromoléculas da MEC interagem umas com as outras e formam uma rede molecular capaz de suportar e transmitir as forças contráteis geradas pelas fibras musculares (Nishimura, 2015).

Alterações ou rupturas nestas estruturas do tecido conjuntivo podem influenciar a qualidade da carne, tendo em vista que a estrutura do endomísio, por exemplo, pode alterar com a idade e ser capaz de influenciar a maciez da carne (Clark; Harding, 2017). Koomkrong et al. (2015), constataram menor espessura do endomísio no músculo do peito em linhagens de frangos de corte de crescimento rápido (1,93  $\mu\text{m}$ ) em comparação com linhagens de crescimento lento (5,74  $\mu\text{m}$ ). A justificativa é que carnes mais macias possuem fibras de maior diâmetro e com menos tecido conjuntivo (Musfiroh et al., 2013).

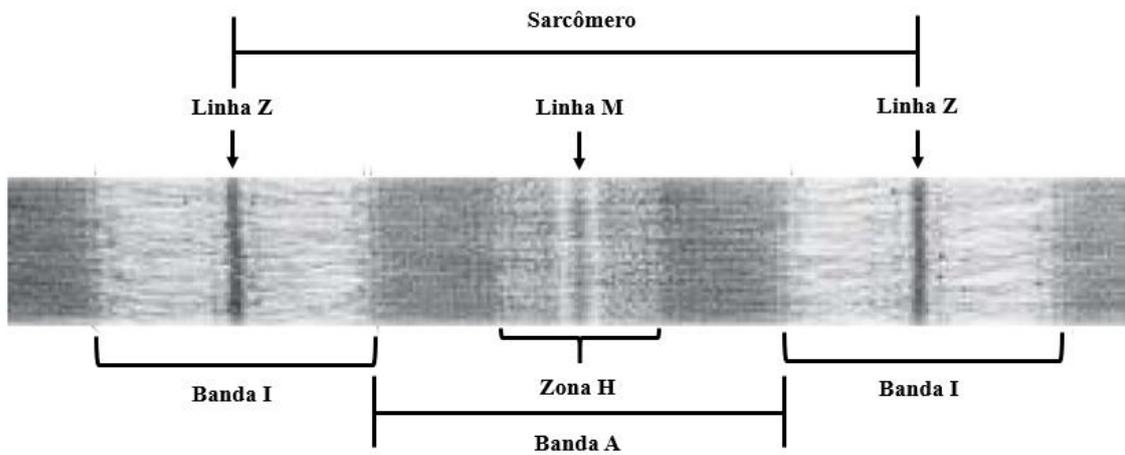


**Figura 1.** Representação da estrutura muscular.

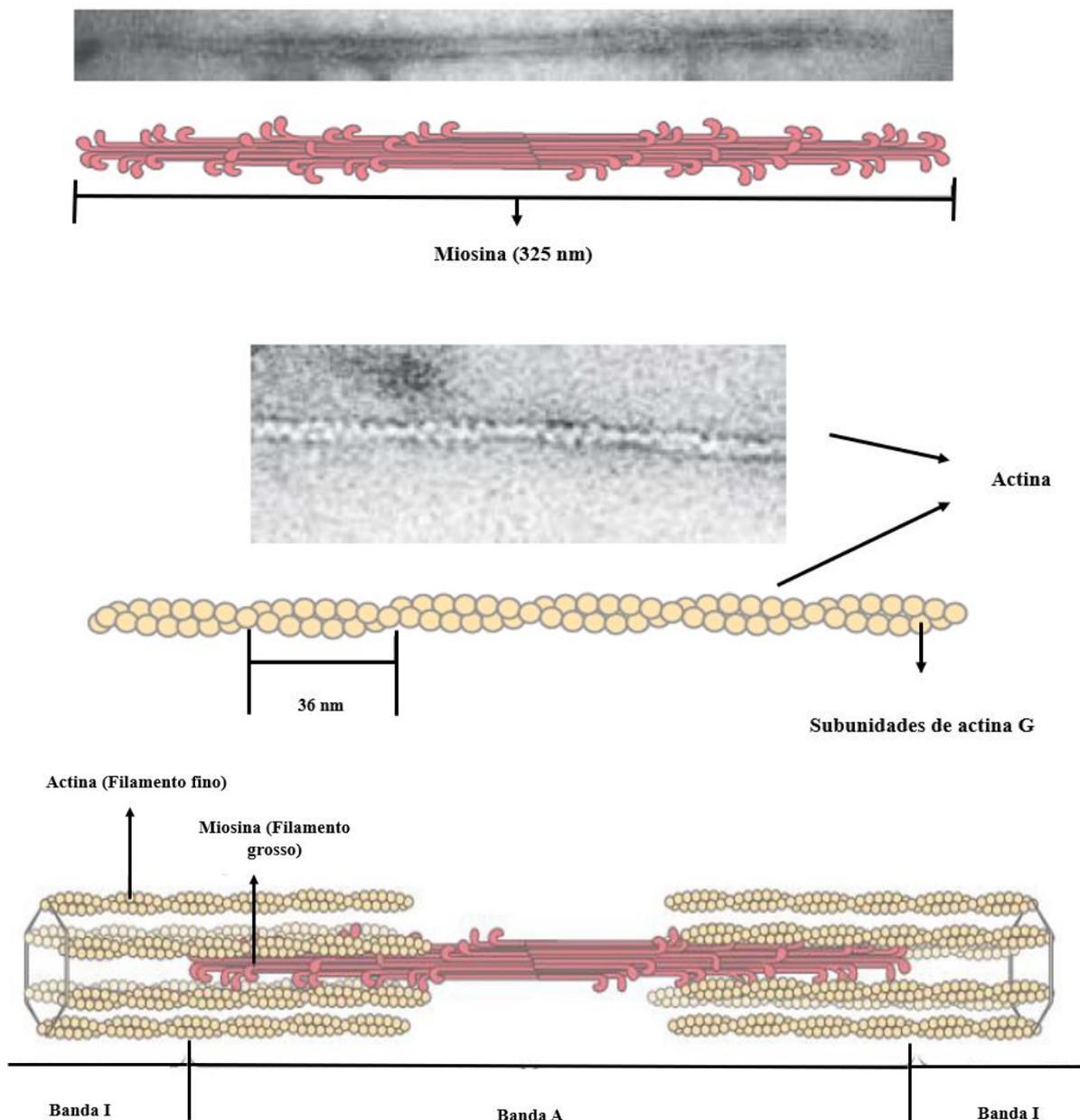
Fonte: Clark e Harding, 2017.

Em média cada fibra muscular, dependendo do diâmetro, possui de 1.000 a 2.000 miofibrilas e a estrutura de cada miofibrila é formada por uma sequência linear de unidades específicas de contração e relaxamento muscular, o sarcômero (Figura 2). Cada sarcômero é constituído por miofilamentos finos e grossos, principalmente por duas proteínas filamentosas, actina e miosina, respectivamente (Figura 3). Ambas são proteínas básicas da contração muscular que compõem mais de 80% da massa protéica do músculo (Bacila, 2003; Nelson; Cox, 2014; Silva; Carvalho, 2007).

Ao microscópio eletrônico, as miofibrilas apresentam regiões de alta (faixas escuras) e baixa (faixas claras) densidade eletrônica, denominadas de Bandas A e I, respectivamente (Figura 2). Tais bandas são o resultado da disposição dos filamentos grossos e finos que estão alinhados e parcialmente sobrepostos. No centro da Banda A, observa-se uma faixa fina mais clara (Banda H) composta apenas de filamentos grossos. Na região central da banda H, nota-se a linha ou disco M, constituída por um arranjo hexagonal de proteínas que ligam filamentos grossos adjacentes. Por outro lado, a banda I é a região que inclui apenas filamentos finos e separada por uma linha escura, o disco Z. Logo, a região localizada entre dois discos Z forma-se um sarcômero. Portanto, a organização dos feixes de forma intercalada possibilita o deslizamento dos filamentos entre si, motivo pelo qual ocorre o encurtamento gradativo dos sarcômeros (Bailey, 2006; Klein; Cunningham, 2014; Nelson; Cox, 2014; Silva; Carvalho, 2007).



**Figura 2.** Estrutura da miofibrila.  
 Fonte: Adaptado de Nelson e Cox, 2014.



**Figura 3.** Organização da miosina e actina no músculo relaxado.  
 Fonte: Nelson e Cox, 2014.

Mesmo que o encurtamento do sarcômero seja um parâmetro interessante para verificar a dureza no músculo peitoral das aves, a presença de lesões musculares nos filés de frangos de corte de linhagens modernas podem ser detectadas duras quando palpadas manualmente e terem comprimento de sarcômero maiores (Tijare et al., 2016). A idade, peso corporal ou o tempo de processamento são fatores que podem influenciar o comprimento do sarcômero, embora a causa do seu aumento seja desconhecida até os dias atuais (Tijare et al., 2016).

De modo geral, as proteínas musculares podem ser divididas em três grupos principais (Tabela 1) conforme sua solubilidade em água e sal e a localização no tecido muscular em: proteínas sarcoplasmáticas (solúveis em água), miofibrilares (solúveis em soluções salinas) e do estroma (solúveis em soluções ácidas e básicas), representando respectivamente em média, 30, 55 e 12% das proteínas musculares (Feiner, 2006; Lawrie; Ledward, 2006). De acordo com Feiner (2006), um músculo com 22% de proteína pode ser dividido em torno de 13 % de proteínas miofibrilares, 7% de proteínas sarcoplasmáticas e 2% de proteínas do estroma.

Tabela 1 - Principais proteínas do músculo e sua porcentagem relativa no músculo úmido (19% de proteína bruta total).

Grupos	Proteínas	%
Proteínas sarcoplasmáticas	Mioglobina	0,2
	Hemoglobina	0,6
	Citocromos	0,2
	Enzimas glicolíticas	2,2
	Creatina quinase	0,5
Proteínas do estroma	Colágeno	1,0
	Elastina	0,05
	Mitocrandial	0,95
Proteínas miofibrilares	Miosina	5,5
	Actina	2,5
	Tropomiosina	0,6
	Troponina	0,6
	Proteína C	0,3
	Titina	0,9
	Nebulina	0,3
	Actininas	0,5

Fonte: Adaptado de Barbut (2015) e Bote (2017).

Distribuídas no sarcoplasma, as proteínas sarcoplasmáticas (Tabela 1) possuem importância tecnológica na formação da cor da carne. Esta função é realizada principalmente pela mioglobina e em menor quantidade pela hemoglobina, sendo a maior parte desta eliminada durante a sangria. Enquanto isso, nas proteínas do estroma as duas principais proteínas são o colágeno e a elastina, que fazem parte do tecido conjuntivo envolvendo as fibras e os feixes musculares (Barbut, 2015; Lawrie; Ledward, 2006; Lee; Joo; Ryu, 2010).

Responsáveis pela estrutura e organização geral da miofibrila, as proteínas miofibrilares (Tabela 1) são constituídas de proteínas contráteis (actina e miosina), reguladoras da contração (tropomiosina e troponinas) e citoesqueléticas (actininas, proteína M, proteína C, nebulina, desmina e titina). Essas proteínas possuem importância qualitativa considerável, uma vez que são responsáveis por 50% da maciez, 75% da capacidade emulsionante (CE) e 97% da capacidade de retenção de água (CRA) da carne (Gomide; Ramos; Fontes, 2013).

Presentes no sarcoplasma, organelas como o retículo sarcoplasmático (RS), lisossomos e as mitocôndrias conferem importância significativas. A primeira desempenha papel relevante na contração muscular, com a função de armazenar e regular a concentração de íons cálcio ( $Ca^{+2}$ ). Ao passo que a segunda, englobam sistemas enzimáticos capazes de digerir a fibra muscular e o tecido conectivo, particularmente as enzimas proteolíticas, como as catepsinas (lisossomais) e calpaínas (dependentes de cálcio). Tais enzimas favorecem a maciez da carne durante a maturação, em virtude da degradação proteolítica das proteínas no *post mortem*, pois com a diminuição gradativa do pH muscular, verifica-se o rompimento dos lisossomos, com a consequente liberação de suas enzimas que passam a digerir o conteúdo fibrilar. A terceira, responsável pelas maiores quantidades de produção líquida de Adenosina trifosfato (ATP) para a fibra muscular (Gomide; Ramos; Fontes, 2013; Lomiwes et al., 2014).

Contudo, as fibras musculares não são todas iguais, podendo ser classificadas em diferentes tipos de acordo com seu perfil morfológico, bioquímico, histoquímico ou fisiológico (Vieira et al., 2017). Os tipos de fibras musculares podem ser diferenciados de acordo com sua forma predominante de suprimento de energia, ou seja, através do mecanismo glicolítico ou oxidativo (Ramos; Gomide, 2017). Em suma, as fibras glicolíticas são mais rápidas na resposta contrátil, com diâmetro maior e de coloração branca, enquanto as que contêm grande quantidade de mitocôndrias são denominadas de

oxidativas, lentas na resposta contrátil, menores no diâmetro e de coloração avermelhada, devido a maior quantidade de mioglobina (Aberle et al., 2001).

Em virtude do melhor indicativo da capacidade glicolítica e oxidativa do músculo, o método bioquímico permitiu classificar as fibras musculares em função da distribuição de suas enzimas glicolíticas e oxidativas em: fibras glicolíticas rápidas (GRs), fibras oxidativas/glicolíticas rápidas (OGRs) e fibras oxidativas lentas (OLs) (Peter et al., 1972), todas presentes nos mamíferos e nas aves. Por outro lado, com base na aparência visual e no conteúdo de mioglobina, as fibras são frequentemente mencionadas como fibras vermelhas (OGRs e OLs) e brancas (GRs) (Bowker, 2017), e diferem em suas propriedades bioquímicas e físicas (Zhuang; Savage, 2013).

As fibras GRs são longas e possuem pouca quantidade de mioglobina e mitocôndrias no citoplasma e é o principal tipo de fibra presente no músculo do peito (*Pectoralis major*) de frangos de cortes (Branciani et al., 2009; Verdiglione; Cassandro, 2013). Portanto, torna-se importante avaliar esse músculo sobre a influência das características das fibras (número, tamanho e tipo) na qualidade da carne para as empresas avícolas, de modo a compreender melhor a forte pressão para hipertrofia por meio dos programas de melhoramento genético relacionado a produção de carne (Berri et al., 2007; Scheuermann et al., 2003; Tumova; Teimouri, 2009).

De maneira oposta aos demais tipos de fibras, pesquisas (Joiner et al., 2014; Sartori et al., 2003; Verdiglione; Cassandro, 2013) relataram que fibras GRs são mais susceptíveis quando submetidas às situações de estresse térmico ou de restrição alimentar, assim como o tamanho da fibra pode ser influenciada para linhagens de crescimento rápido. Analisando a temperatura ambiente em frangos de corte de 3 a 9°C acima e de 7 a 9°C abaixo da termoneutralidade e com restrição alimentar, Sartori et al. (2003) notaram que o estresse pelo frio juntamente com a limitação no consumo de ração, reduziu o tamanho das fibras GRs, porém, sem alterar as fibras OLs e OGRs. Os autores confirmaram que o crescimento muscular é dependente da hipertrofia das fibras glicolíticas, as quais necessitam da contribuição nutricional para seu crescimento. Outro efeito das altas temperaturas é o aumento de danos causados nas fibras musculares que podem produzir qualidades inferiores da carne de peito em frangos de corte (Joiner et al., 2014). Ao avaliarem a caracterização do tipo de fibras no músculo *Pectoralis major* em duas linhagens (crescimento lento e rápido), Verdiglione e Cassandro (2013) observaram que a área transversal das fibras GRs foi maior para linhagens de crescimento rápido, e que tal fato está associado com linhagens selecionadas para a produção de carne.

## 4.2 Contração muscular

A teoria do Filamento Deslizante proposto por Hugh Huxley e Jean Hanson em 1954 é a teoria mais usada para esclarecer a contração muscular, baseada em como os filamentos de miosina deslizam entre os filamentos de actina em direção aos discos Z. A formulação da teoria e a prova posterior foi impulsionada pelo trabalho pioneiro (1924-2013) de Hugh Huxley (Hitchcock-Degregori; Irving, 2014). Em síntese, os filamentos de actina são puxados em direção a linha M como uma alavanca pela miosina, devido a inserção e liberações repetitivas das cabeças de miosina, ou seja, a contração muscular é consequência das interações entre ambas proteínas filamentosas (miosina e a actina), acopladas à hidrólise de ATP pela miosina (Bailey, 2006).

A contração de uma fibra muscular é iniciada no cérebro através do SNC, por meio de um estímulo elétrico (potencial de ação) transmitido pela fibra nervosa (nervo motor) que chega à placa motora terminal. Quando o estímulo elétrico chega nesta placa, ocorre a liberação de um neurotransmissor, a acetilcolina (ACh). A ACh possibilita que o sarcolema se torne mais permeável à entrada de íon  $\text{Na}^+$  pelo mecanismo da bomba de  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ . Desta forma, a maior permeabilidade ao  $\text{Na}^+$  estimula uma inversão de polaridade no sarcolema para que o estímulo nervoso alcance toda fibra muscular. Em seguida, a ACh é degradada pela enzima acetilcolinaesterase para que o estímulo seja rapidamente interrompido. Logo após a despolarização elétrica do sarcolema é conduzida para as miofibrilas pelos túbulos T dentro do RS, o que permite a liberação de cálcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ) do RS. O  $\text{Ca}^{+2}$  então se liga à proteína troponina C, gerando uma mudança na conformação do complexo troponina-tropomiosina e provocando o ciclo de interações actina-miosina (Clark; Harding, 2017; Feiner, 2006; Klein; Cunningham, 2014; Nelson; Cox, 2014; Purslow, 2017; Samuelson, 2007; Swartz; Greaser; Cantino, 2009).

Esta conformação vai liberar os sítios ativos da actina para que se liguem à cabeça da molécula de miosina. Após os sítios de ligação disponíveis cada cabeça de miosina, em companhia com uma molécula de ATP, entrará em contato com a actina formando pontes cruzadas. Através da hidrólise do ATP (cliva o ATP em ADP + Pi), ativada pela enzima ATPase miosínica, vai liberar energia necessária para que a cabeça se curve e ligue com a actina, formando o complexo actomiosina. No entanto, quando o ATP estiver ausente, a cabeça de miosina permanecerá ligada à actina, produzindo uma condição denominada de *rigor mortis*. Após a contração, o relaxamento muscular ocorre através da retirada de íons  $\text{Ca}^{+2}$ , uma vez que o RS absorve o excesso de íons  $\text{Ca}^{+2}$  do

sarcoplasma. Em seguida, a enzima ATPase miosínica é ativada para conseguir ATP suficiente para separação da actina e miosina, e alterar o complexo actomiosina em um músculo relaxado (Clark; Harding, 2017; Feiner, 2006; Klein; Cunningham, 2014; Nelson; Cox, 2014; Purslow, 2017; Samuelson, 2007; Swartz; Greaser; Cantino, 2009).

Necessária para a realização do processo de contração e relaxamento muscular, a molécula de ATP desempenha funções importantes para o fornecimento de energia, contudo, a quantidade de ATP na fibra muscular é baixa. Desta maneira, a adenosina difosfato (ADP), obtida pela quebra do ATP, deve ser refosforilada para formar uma nova molécula de ATP e preservar o nível energético durante a contração (Gomide; Ramos; Fontes, 2013). Esta refosforilação necessita de mecanismos distintos que forneçam energia (Westerblad; Bruton; Katz, 2010).

Deste modo, a fosfocreatina é o primeiro mecanismo de energia utilizado pela fibra para a síntese de ATP a partir da desfosforilação da fosfocreatina em creatina, reação acelerada pela enzima creatina quinase, porém a duração do ATP é curta (Bacila, 2003). Outra alternativa é o mecanismo oxidativo, sendo o mais eficiente para a síntese de ATP, que utiliza o oxigênio como aceptor final de elétrons, envolvendo a glicólise, ciclo de Krebs e a cadeia transportadora de elétrons para a produção de ATP (Westerblad; Bruton; Katz, 2010).

Por último e o principal meio de produção de ATP no *post mortem* é o mecanismo glicolítico, que ocorre após a morte do animal ou sob intensa atividade muscular, característico da falta de oxigênio (Bowker, 2017). Porém, a produção de ácido láctico (a partir do piruvato) como produto final desta reação e seu acúmulo no músculo em situação de atividade anaeróbica extrema, causa a redução de pH muscular, a qual promove a redução de reações metabólicas, inclusive do próprio sistema glicolítico, cessando a produção de ATP (Gomide; Ramos; Fontes, 2013). Esta diminuição do pH muscular torna-se indispensável para adequada maturação da carne no processo de conversão do músculo em carne (Brossi et al., 2009).

Por outro lado, o suprimento sanguíneo no animal vivo é necessário para o fornecimento de nutrientes, fatores endócrinos e para a remoção de metabólitos, como por exemplo o ácido láctico. Todavia, no momento em que esse animal é abatido ocorre a redução gradativa do suprimento sanguíneo e como consequência, a homeostase celular será interrompida, aumentando o estresse oxidativo e reduzindo o pH muscular em virtude do acúmulo de ácido láctico. Neste contexto, o aumento do crescimento muscular

em detrimento da morfologia muscular trará efeitos prejudiciais na qualidade da carne e poderá induzir condições miopáticas (Clark; Walter; Velleman, 2017).

### 4.3 Conversão do músculo em carne

A transformação do músculo em carne envolve processos bioquímicos e metabólicos que são induzidos pelos tecidos dos animais para ajustar-se às novas circunstâncias e tentar manter a homeostasia. Porém, o tempo, tamanho e a extensão dessas respostas no *post mortem* podem afetar consideravelmente o desenvolvimento e os parâmetros que determinam a qualidade da carne, como por exemplo, a maciez, suculência, sabor e a vida de prateleira (Warner, 2016).

Em virtude da interrupção da circulação sanguínea após a sangria, todos os órgãos e tecidos encontram-se na ausência de oxigênio (anoxia). Esta anoxia no tecido muscular resulta em mudanças no metabolismo e na bioquímica tanto *in vivo* quanto no *post mortem* (Warner, 2016). Entretanto o músculo continua respirando, produzindo e consumindo ATP, na tentativa de manter a homeostase celular, através do consumo do oxigênio muscular armazenado nas mioglobinas.

No momento em que todo oxigênio celular é consumido, o tecido muscular depende exclusivamente do metabolismo glicolítico para a produção de ATP, utilizando-se das reservas de glicogênio muscular. Este glicogênio é convertido em ácido láctico, produto final do metabolismo glicolítico, e se acumula devido à falta de fluxo sanguíneo para removê-lo. Assim, o pH muscular diminui de 7,0 para 5,7 a 5,9, para aves e perus, a um nível que inibe a glicólise e a produção de ATP. Quando a concentração de ATP cai drasticamente ( $1,0 \mu \text{ mol/g}$ ) torna-se insuficiente dissociar a actina e miosina, e como consequência elas permanecem complexadas como actomiosina, iniciando então a fase do *rigor mortis*. O estabelecimento do *rigor mortis* acontece quando o nível de ATP continua a decrescer até atingir  $0,1 \mu \text{ mol/g}$ , momento em que a extensibilidade é total e o desenvolvimento da tensão é máxima (Bowker, 2017; Lee; Joo; Ryu, 2010; Matarneh et al., 2017; Sams, 1999).

Segundo Dransfield e Sosnicki (1999), animais que predominam fibras glicolíticas possuem desenvolvimento do *rigor mortis* mais rápido. Deste modo, o início do *rigor mortis* é em média de 1 dia para a carne bovina, 4 horas para a carne suína e de 1 hora para o músculo do peito do frango. Enquanto que a resolução do *rigor mortis* normalmente ocorre em torno de 4 a 6 horas para frangos de corte e de 6 a 8 horas para perus (Bowker, 2017).

No entanto, após instalação do *rigor mortis* a carne não permanece rígida para sempre, devido a degradação da estrutura muscular pela atividade enzimática natural da carne (proteólise). Esta degradação é denominada de resolução do *rigor mortis* ou maturação, etapa que caracteriza a maciez da carne. Os complexos enzimáticos responsáveis pela degradação das proteínas da estrutura miofibrilar e da maciez da carne são as catepsinas (lisossomais), calpaínas (dependentes de cálcio) e em menor atividade as proteasomas (dependentes de ubiquitina) (Aberle et al., 2001; Dransfield; Sosnicki, 1999; Lee; Joo; Ryu, 2010).

#### **4.4 Qualidade da carne**

Segundo Ismail e Joo (2017) para se produzir uma carne de frango de alta qualidade, é necessário entender os parâmetros de qualidade bem como os fatores que os controlam. Deste modo, o entendimento das características das fibras musculares e da qualidade da carne de frango atrelado com a taxa de crescimento rápido na indústria avícola devem ser pesquisados constantemente.

A definição para a qualidade da carne de frangos de corte é difícil por tratar-se de um conceito complexo, uma vez que é determinado pelas preferências dos consumidores (Ismail e Joo, 2017). Entretanto, tal preferência está baseada nas respostas psicológicas e sensoriais únicas de cada indivíduo e que se relacionam diretamente aos cinco sentidos da percepção humana, tais como: audição, paladar, visão, olfato e tato (Joo et al., 2013). Fletcher (2002) afirmou que as principais características de qualidade da carne de aves são a aparência, textura, suculência, sabor e a funcionalidade. Segundo o autor, destes os mais importantes têm sido particularmente a aparência e a textura, em razão de influenciarem mais a seleção inicial e a satisfação final dos consumidores, respectivamente.

Em parte, a complexidade reflete nas diversas definições de qualidade de carne existente na literatura científica. Para Muchenje et al. (2009), a qualidade da carne refere-se à composição e palatabilidade da carne. Sokolowicz; Krawczyk e Swiatkiewicz (2016) indicaram que a definição da qualidade da carne de frangos de corte é formada pela segurança, valor nutritivo e características sensoriais, sendo a segurança da carne determinada pelo grau de contaminação microbiológica e química, o valor nutritivo determinado pelo conteúdo de proteína de alto valor biológico, ácidos graxos insaturados, vitaminas, minerais e colesterol, e as características sensoriais determinadas pela cor, aroma e sabor da carne. De forma similar, Listrat et al. (2016) relataram que a definição

da qualidade da carne é composta pela segurança, qualidade nutricional, satisfação (qualidade organoléptica) e facilidade de operacionalidade que compreende a facilidade de uso, capacidade de processamento e preços.

Por outro lado, Joo et al. (2013) afirmaram que a qualidade da carne pode ser definida por fatores científicos, englobando a composição, nutrientes, corantes, capacidade de retenção de água (CRA), maciez, funcionalidade, sabores, deterioração e contaminação. Conforme Ramos e Gomide (2017), mesmo que não seja por completo, a qualidade da carne pode ser caracterizada, definida e mensurada de forma objetiva. Segundo os autores, os parâmetros de qualidade da carne podem ser analisados por técnicas objetivas (análises instrumentais), subjetivas (análise sensorial) ou ambas. Entre as técnicas objetivas são considerados o pH, CRA, maciez e cor, ao passo que para a técnica subjetiva são realizados testes subjetivos, como o uso de painéis de degustadores (Mendes; Komiyama, 2011).

Diversos fatores podem contribuir para influenciar as características de qualidade da carne, como a estrutura muscular, composição, ambiente, interação de constituintes químicos, alterações *post mortem* nos tecidos musculares, estresse, efeitos de abate, manuseamento, processamento e armazenamento dos produtos e contaminações microbiológicas, entre outros (Joo et al., 2013).

Outro fator que pode afetar a qualidade da carne de aves é a taxa de crescimento acelerado. Atrelado com a crescente demanda por carne de frango, houve melhorias progressivas na seleção genética para produzir frangos de crescimento rápido, produzindo aumento no crescimento que levaram modificações significativas para a estrutura muscular, metabolismo e na qualidade da carne, acarretando no aparecimento de várias anormalidades no músculo do peito simultaneamente com uma maior vulnerabilidade à alterações musculares (miopatias) induzidas pelo estresse (Dransfield; Sosnicki, 1999; Petracci et al., 2015; Petracci; Cavani, 2012). Essas anormalidades musculares trazem inúmeras consequências para a qualidade de produtos *in natura* e processados.

#### **4.4.1 Aparência e Cor**

A aparência é o atributo de qualidade mais importante da carne de frango crua ou cozida, porque os consumidores a associam ao frescor do produto e decidem pela compra ou não do produto com base em sua atratividade (Mir et al., 2017).

Qualquer condição que afete negativamente a aparência visual de um produto poderá influenciar a decisão de compra pelo consumidor e possivelmente levar perdas

econômicas (Kuttappan et al., 2012a), já que os consumidores usam a descoloração como um indicador de deterioração e salubridade do produto (Mancini, 2013). O principal e mais importante atributo de qualidade na seleção inicial dos consumidores para adquirir carne de aves é a sua aparência, e um dos principais componentes contribuintes da aparência é a cor (Fletcher, 2002). O desenvolvimento da cor da carne é um fator importante para o comportamento de compra (Janisch; Krischek; Wicke, 2011).

Quando a luz entra em contato com a superfície da carne, ela pode ser refletida, absorvida ou dispersada. A combinação destas três características é que determinam a cor da carne, no entanto, o mais importante é a luz refletida de volta ao olho que determina a percepção do consumidor e a aceitabilidade (Hughes et al., 2014).

A carne deve ter uma cor desejável que seja uniforme durante todo o corte e o principal pigmento na carne associado com a cor é a mioglobina (Muchenje et al., 2009). Responsável pela estocagem de oxigênio, a mioglobina é uma proteína sarcoplasmática que contém um grupo heme ligado a uma molécula de proteína globular (globina), que determina a cor da carne através de seu átomo de ferro heme localizado centralmente (Mancini, 2013).

O átomo de ferro pode encontrar-se na forma reduzida ( $Fe^{+2}$ ) ou oxidada ( $Fe^{+3}$ ), dando origem a oximioglobina e metamioglobina, respectivamente. Cada uma delas apresenta um espectro de absorção, a mioglobina de cor vermelho-púrpura, oximioglobina de cor vermelho brilhante e a metamioglobina de cor marrom (Ramos; Gomide, 2017).

Diversos fatores podem contribuir na concentração destes pigmentos na carne, como a espécie e idade animal, atividade muscular, diferenças nos músculos em um mesmo animal, sistemas de criação, pH da carne, defeitos visuais como a presença de lesões (trauma físico) e hemorragias (ruptura de vasos sanguíneos ou capilares), entre outros (Fletcher, 2002; Gomide; Ramos; Fontes, 2013; Muchenje et al., 2009).

Ao longo dos anos diversas formas e sistemas foram desenvolvidos para determinarem a cor da carne. Os métodos mais comuns para mensurar a cor da carne são as avaliações visuais e instrumentais. Entre as técnicas instrumentais, os mais utilizados na atualidade são os sistemas Hunter Lab e CIELAB (Mancini, 2013).

Desenvolvido por Richard Hunter na década de 1950, o sistema Hunter Lab compreende uma escala uniforme, em que “L” mede a luminosidade (preto puro – 0; branco puro - 100), “a” e “b” medem os níveis de tonalidade e saturação, em que “a” positivo indica o vermelho e o “a” negativo o verde, e o “b” positivo indica o amarelo e

o “b” negativo o azul (Ramos; Gomide, 2017). Semelhante ao sistema Hunter Lab em 1976 o sistema CIELAB foi desenvolvida pela CIE, sigla do francês Commission Internationale de L’Eclairage, e seus parâmetros de escala englobam: L\* (luminosidade), a\* (teor de vermelho) e b\* (teor de amarelo), embora na área de carne as cores verdes e azuis são incomuns (Ramos; Gomide, 2017).

Qiao et al. (2001) com o objetivo de caracterizar a cor dos filés do peito de frangos de corte, verificaram que a seleção de filés baseado no valor L\* resultou em uma diferenciação clara e consistente dos filés claros, normais e escuros com zero e 24 horas *post mortem*. Os autores sugeriram que o parâmetro L\* serve como um indicador de filés com propriedades funcionais alteradas, onde as carnes de frango podem ser classificadas em pálidas ( $L^* > 53$ ), normais ( $48 < L^* < 53$ ) e escuras ( $L^* < 46$ ). Desta forma, o valor L\* torna-se um parâmetro importante para a determinação da análise de cor nos filés de peito de frangos de corte. Segundo Hughes et al. (2014), a luminosidade (L\*) está relacionada com as características estruturais do músculo, ao qual faz parte da luz refletida que é visualizada.

Janisch; Krischek e Wicke (2011) verificaram que a cor e os parâmetros de qualidade do músculo do peito de frangos de corte em diferentes idades (28 e 41 dias) combinados com linhagens comerciais de alto rendimento (Ross 308, Cobb 700 e Ross 708), são fatores que podem influenciar a conversão do músculo em carne após o abate e sugerem que as reclamações sobre as variações de cor da carne na indústria podem ser reduzidas. Segundo os autores, o uso estratégico do valor L\* é uma medida interessante e benéfica para a indústria avícola porque frangos de corte com idades avançadas e/ou selecionadas para rendimento de cortes nobres (Ross 708) são vendidos separadamente, como por exemplo, peito e coxas.

#### 4.4.2 pH

O pH é realizado através da inserção de um eletrodo de penetração diretamente no músculo do peito das aves (*Pectoralis major*), sendo determinado 24 ou 48 horas *post mortem* em temperatura refrigerado (Mendes; Komiyama, 2011). A alteração no pH muscular é uma das mudanças mais significativas que ocorrem durante o desenvolvimento do *rigor mortis* e que podem afetar os aspectos qualitativos da carne, como a textura, cor e a capacidade de retenção de água (CRA) (Mehaffey et al., 2006).

O pH final da carne e a taxa de queda do pH são influenciados por eventos bioquímicos antes e após o abate, ao qual possui ação sobre os componentes estruturais

nas células musculares e no tecido conectivo. A influência na taxa e na extensão do pH reflete sobre a desnaturação da proteína, no espaço da rede miofibrilar e no encolhimento das células musculares, os quais são fundamentais para determinarem a qualidade da carne *in natura* e cozida (Hughes et al., 2014). A taxa de declínio do pH pode variar em função das linhagens genéticas e entre aves da mesma espécie (Dransfield; Sosnicki, 1999).

Em geral, o pH final da carne é dependente da concentração de glicogênio no momento do abate (Van Laack et al., 2000) e pode sofrer alterações de múltiplos fatores. Antes do abate, o estresse é considerado um dos fatores mais importantes que podem influenciar o pH final e a maciez da carne. Condições de transporte, manuseio, temperatura e tempo de jejum inadequados, por exemplo, são fatores que contribuem para que os animais usem suas reservas de glicogênio antes do abate (Muchenje et al., 2009). A utilização das reservas de glicogênio muscular em situação de estresse faz com que não haja acúmulo de ácido lático no músculo *post mortem* e o pH final da carne não irá diminuir, o que pode afetar no processo de conversão do músculo em carne (Brossi et al., 2009).

O pH tem uma relação direta com os atributos de qualidade da carne, como a maciez, CRA, cor, suculência e vida de prateleira (Mir et al., 2017). Entretanto, o baixo pH final da carne de peito de frangos pode ser correlacionado com a cor pálida e a menor CRA (Van Laack et al., 2000). A carne de peito de frangos de corte considerada normal apresenta pH final em torno de 5,80 a 5,92 (Mudalal et al., 2015; Tasoniero et al., 2016).

#### **4.4.3 Textura e Maciez**

A textura da carne de aves é o fator mais relevante associado com a satisfação final dos consumidores (Fletcher, 2002), na qual a maciez é o segundo critério mais importante para garantir a repetição da compra de carne, sendo a primeira a cor (Feiner, 2006). A maciez é o principal atributo da textura e é importante para o consumidor avaliar a qualidade da carne (Ramos; Gomide, 2017). Segundo Muchenje et al. (2009), a maciez da carne, do ponto de vista humano, pode ser determinada através da percepção da maciez na língua e da resistência à pressão e a aderência entre os dentes.

A textura da carne é dependente da estrutura e composição do músculo esquelético, que é composto principalmente de fibras musculares e de tecidos conectivos intramusculares circundantes, tais como, o endomísio, perimísio, epimísio, e das macromoléculas da matriz extracelular, como colágenos, proteoglicanos e glicoproteínas

(Nishimura, 2015). Quando a carne é consumida, o epimísio é frequentemente removido durante a preparação por ser espesso e resistente, de modo que o perimísio e o endomísio são os principais contribuintes dos tecidos conectivos para a textura da carne cozida (Petracci; Cavani, 2012; Purslow, 2014). A deposição da gordura intramuscular, principalmente entre os adipócitos localizados entre as fibras musculares, produz uma desorganização e enfraquecimento da estrutura do perimísio, que provoca um remodelamento da matriz extracelular e proporciona uma carne macia (López-Bote, 2017; Matarneh et al., 2017).

Fatores como encurtamento do sarcômero, idade do frango e o teor de umidade da carne podem afetar negativamente a maciez da carne de peito de frango (Morey; Owens, 2017). No entanto, condições como a maturidade dos tecidos conjuntivos e o estado contrátil das proteínas miofibrilares são os principais contribuintes para a maciez da carne. A maturidade do tecido conjuntivo envolve a ligação cruzada do colágeno no músculo, ou seja, com o aumento da idade ocorre aumento das ligações cruzadas de colágeno, bem como o aumento no número de ligações cruzadas entre actina e a miosina. Em contrapartida, o estado contrátil das proteínas miofibrilares relaciona-se com a taxa e gravidade do desenvolvimento do *rigor mortis* (Feiner, 2006; Fletcher, 2002; Mir et al., 2017).

Outro fator que afeta a maciez da carne é o tempo de desossa nas plantas de processamento. Mehaffey et al. (2006) verificaram que a desossa precoce (2 horas *post mortem*) resultou em pH muscular maior, menor valor de  $L^*$  e maior força de cisalhamento quando comparado a desossa realizada às 4 horas *post mortem*, indicando que a desossa realizada precocemente pode afetar a maciez da carne. Desta forma, os autores sugeriram que a desossa deve ser efetuada no mínimo 4 horas após o abate, com o intuito de possibilitar o desenvolvimento completo do *rigor mortis* e impedir a dureza da carne. A maciez da carne pode também sofrer influência das propriedades das fibras musculares, como por exemplo o tamanho do diâmetro da fibra (Morey; Owens, 2017). Segundo Verdiglione e Cassandro (2013), fibras de tamanho pequeno estão relacionado com carne de granulometria fina e que pode contribuir de forma positiva a percepção sensorial do gosto para o consumidor.

A maciez da carne de peito de aves pode ser medida através de métodos instrumentais e sensoriais. No entanto, devido a avaliação sensorial ser onerosa e demorada, existe a possibilidade de variações entre os consumidores, os quais diferem em suas experiências com os alimentos (Lyon et al., 2010). Por este motivo, surgem

pesquisas com o intuito de desenvolvimento de técnicas para avaliação de textura no músculo do peito das aves (Lee; Xiong; Meullenet, 2014; Tijare et al., 2016), com o propósito de melhorar a predição de textura da carne. Entre os métodos instrumentais a textura pode ser medida por meio de equipamentos específicos, como os texturômetros, através de análises de força de cisalhamento *Warner-Bratzler* (WB), *Allo-Kramer* (AK), *Texture profile analysis* (TPA), *Meullenet-Owens razor shear force* (MORS) e *Meullenet-Owens razor shear energy* (MORSE) (Lyon et al., 2010; Morey; Owens, 2017).

A aplicação de qual metodologia ser a mais adequada é um desafio para indústria avícola, pois cada análise pode sofrer influência devido as mudanças na estrutura e composição do tecido muscular em decorrência do rápido crescimento corporal observado nos últimos anos. Essa mudança atrelada ao rápido desenvolvimento do tecido muscular provocou o surgimento de miopatias, como *white striping* e *wooden breast*.

Estas miopatias são caracterizadas por lesões histológicas no músculo peitoral e modificam a estrutura das fibras musculares (Soglia et al., 2016), a possibilidade é que os músculos podem ficar mais perceptíveis ao corte, de forma que a força de cisalhamento pode ser menor em comparação aos filés de peito normais. Em um estudo recente, Sanchez Brambila et al. (2018) constataram menor força de cisalhamento pelo método *Warner-Bratzler* (WB) para filés *wooden breast* armazenados a 4°C. A possível explicação é que a formação de cristais de gelo formado durante o congelamento pode danificar as fibras musculares e causar alterações bioquímicas, ocasionando a ruptura da estrutura física e permitindo a maciez da carne ou através da quebra das fibras musculares pela ação enzimática durante o descongelamento da carne (Leygonie; Britz; Hoffman, 2012).

Com o objetivo de caracterizar as propriedades de textura dos filés de peito de frangos crus e cozidos, com diferentes graus de *wooden breast* usando os métodos MORS e TPA, Chatterjee et al. (2016) verificaram que estes métodos foram capazes de diferenciar filés com *wooden breast* de filés normais, porém nenhum dos métodos foi suficiente para diferenciar a maciez em graus moderados e severos desta miopatia.

Mazzoni et al. (2015), ao avaliarem a influência da miodegeneração em filés de peito de frangos de corte, classificados em três categorias (leve, moderado e severo), não observaram diferenças na força de cisalhamento pelo método *Allo-Kramer* (AK). Este estudo demonstrou que o AK pode não ser o melhor método para identificar a qualidade do filé de peito com miodegeneração. De outro modo, Tijare et al. (2016) relataram que

o método MORSE foi efetivo na identificação das diferenças de força de cisalhamento entre os filés de peito de frangos de corte com *white striping* e *wooden breast*, com 6 e 9 semanas de idade e desossadas às 2 horas *post mortem*, embora não verificaram diferenças na maciez com 9 semanas de idade e desossadas às 4 horas *post mortem*. De acordo com os autores, as metodologias que medem a maciez da carne analisam em relação ao estado contrátil, isto é, o encurtamento do sarcômero, indicando que estudos futuros são necessários para verificar a relação da textura nas diferenças histológicas, como degeneração da fibra e infiltração de lipídeos e tecido conjuntivo, nos peitos de frangos de corte associados com ambas miopatias.

Outra medida interessante para avaliar a maciez da carne é o índice de fragmentação miofibrilar (IFM), principalmente para músculos que não são grandes o suficiente para determinarem a força de cisalhamento ou a maciez sensorial em painéis de provadores (Veiseth et al., 2001). Este índice mede a degradação das proteínas musculares em condições *post mortem*, através da fragmentação das miofibrilas (Hopkins; Littlefield; Thompson, 2000). Segundo Olson, Parrish Jr e Stromer (1976), o termo fragmentação miofibrilar é o fenômeno em que as miofibrilas se dividem em fragmentos menores no disco Z ou perto dele durante o armazenamento do músculo no *post mortem*.

O IFM está relacionado diretamente com a maciez do músculo, ou seja, conforme os valores de força de cisalhamento diminuem maior é o IFM (Olson; Parrish Jr; Stromer, 1976). Veiseth et al. (2001) observaram que o IFM verificado em músculos frescos ou congelados não diferiram, indicando que o IFM pode ser determinado em músculos frescos, congelados ou descongelados.

Tijare et al. (2016) e Sun et al. (2018) verificaram que o índice de fragmentação gravimétrica (IFG), método que também mede o grau de fragmentação miofibrilar, foram maiores em filés de frangos de corte acometidos pela miopatia *wooden breast* quando comparados aos filés normais. De acordo com os autores, este aumento está relacionado com o aumento da quantidade de colágeno e a proteólise *post mortem*, respectivamente.

#### **4.4.4 Capacidade de retenção de água (CRA)**

A Capacidade de retenção de água (CRA) é a capacidade da carne de preservar a água durante as etapas de processamento e armazenamento (Bowker, 2017). A CRA é uma das propriedades funcionais mais importantes da carne *in natura* e possui relação direta com a cor e a maciez da carne (Mir et al., 2017) e depende de fatores que afetam o

desenvolvimento do *rigor mortis*, como o pH final e a proteólise (López-Bote, 2017). A CRA torna-se importante para a qualidade da carne em virtude da aceitação visual, sensorial, econômica e pela função que desempenha na moldagem da estrutura muscular (Hughes et al., 2014).

Considera-se que a capacidade da carne de se ligar a água é uma característica complexa que é influenciada por mudanças estruturais e bioquímicas que ocorrem durante a transformação do músculo em carne (Bowker; Zhuang, 2015). No entanto, diferenças na CRA pode ser medida através de métodos gravimétricos, pela aplicação de forças mecânicas externas ou por métodos de cozimento (Bowker, 2017). Estes métodos envolvem a mudança de peso em amostras de carne devido à perda de água.

Alterações estruturais nas miofibrilas podem influenciar o deslocamento e a ligação da água durante a conversão do músculo em carne (Matarneh et al., 2017). As principais proteínas miofibrilares responsáveis pela retenção de água no tecido muscular são a actina e miosina, de forma que 85% da água contida no músculo localiza-se entre os filamentos de actina e miosina, ao passo que 15% situa-se no sarcoplasma entre as miofibrilas (Ramos; Gomide, 2017). De acordo com Hughes et al. (2014), as perdas de peso da carne durante o processo de armazenamento, congelamento e descongelamento está relacionado com a quantidade de água liberada das miofibrilas e a capacidade com que pode deixar a rede da estrutura muscular. Portanto, a perda desta água pode ser devido ao encolhimento das miofibrilas e pela desnaturação dos filamentos de miosina.

Bowker e Zhuang (2015) verificaram maior absorção de salmoura (%), menor perda por cozimento e por gotejamento (%) em filés de peito de frangos de corte com alto teor de CRA em comparação aos filés com baixo teor de CRA às 6 e 24 horas *post mortem*. Os autores notaram maiores graus de desnaturação da proteína sarcoplasmática glicogênio fosforilase (desempenha função importante no metabolismo muscular) em filés com baixo teor de CRA, indicando neste estudo que, além das proteínas miofibrilares (actina e miosina), as proteínas sarcoplasmáticas possuem papel importante na determinação da CRA.

#### **4.4.5 Colágeno**

O tecido conjuntivo intramuscular é uma rede complexa de proteínas extracelulares que mantém a estrutura muscular e transporta forças de contração para os tendões e ossos (López-Bote, 2017). A maior parte do tecido conjuntivo é constituída por seus componentes extracelulares, também denominada de matriz extracelular (MEC), e é

pela composição da MEC que cada tipo de tecido conjuntivo adquire suas características (Samuelson, 2007). A MEC exerce papel fundamental no fornecimento de força biomecânica para os tecidos conjuntivos intramusculares e na regulação do comportamento das células musculares (Nishimura, 2015).

O epimísio, perimísio e endomísio são camadas distintas do tecido conjuntivo com diferentes composições e morfologias. Estas camadas são compostas de proteínas fibrosas cercadas por uma substância amorfa que possuem glicoproteínas e proteoglicanos. Das proteínas fibrosas, as maiores quantidades pertencem à família do colágeno (Purslow, 2017). Desta forma, o principal componente do tecido conjuntivo é o colágeno, seguido de elastina, proteoglicanos e glicoproteínas (López-Bote, 2017; Matarneh et al., 2017).

Histologicamente, as fibras colágenas proporcionam força e flexibilidade ao tecido conjuntivo e são formadas em feixes que se ramificam. As fibras são compostas por subunidades menores, as fibrilas. A fibrila é constituída por moléculas denominadas de tropocolágeno. Cada unidade de tropocolágeno é composta de três cadeias polipeptídicas (cadeias  $\alpha$ ) que se enrolam entre si formando uma hélice. Cada hélice é composta principalmente por aminoácidos como glicina, prolina, hidroxiprolina e hidroxilisina (Samuelson, 2007).

As moléculas de tropocolágeno são estabilizadas por ligações inter-cadeias para formar fibrilas de 50 nm de diâmetro. Estas fibrilas são estabilizadas por ligações intramoleculares (pontes de dissulfeto ou hidrogênio) ou ligações intermoleculares, que incluem piridinolina e desoxipiridinolina, conhecidas como ligações cruzadas (Listrat et al., 2016).

O colágeno tem uma seqüência regular de aminoácidos, com uma proporção muito alta de glicina, prolina e hidroxiprolina, que são aminoácidos não essenciais com valor nutricional limitado e baixo teor de metionina, cisteína, tirosina e triptofano (Purslow, 2017). Esta combinação permite a estabilização de moléculas e ligações cruzadas intermoleculares ao longo do tempo, aumentando assim a dureza da carne e diminuindo a digestibilidade (López-Bote, 2017). Na indústria da carne, a quantidade de tecido conjuntivo é comumente avaliada pela quantidade de hidroxiprolina, aminoácido exclusivo do colágeno (Barbut, 2015).

As ligações cruzadas de colágeno aumentam à medida que o animal envelhece e confere maior resistência mecânica e textura mais firme da carne. Porém, a espessura e a ligação cruzada entre o perimísio e o tamanho dos feixes musculares são os aspectos mais

pertinentes do tecido conjuntivo que afetam as diferenças de textura e palatabilidade da carne (Matarneh et al., 2017).

De acordo com Lawrie e Ledward (2006), durante a maturação dos tecidos do animal o colágeno torna-se mais resistente à quebra. Para os autores, isto não é devido a um aumento no número de ligações cruzadas intermoleculares, mas à formação de ligações não-redutíveis envolvendo três ou mais cadeias através das quais uma rede tridimensional é gerada e alta resistência à tração é desenvolvida. Segundo os autores, a natureza dessas ligações cruzadas maduras ainda não está clara, mas há evidências de que a hidroxialdohistidina e a piridinolina são as estruturas responsáveis.

Coró, Youssef e Shimokomaki (2003), verificaram que o valor da força de cisalhamento no peito de galinhas da linhagem Ross em diferentes idades (20, 40, 90, 180, 365 e 540 dias), não foi relacionado a quantidade de colágeno, mas sim ao aumento na proporção da concentração de ligações cruzadas de colágeno maduro, a piridinolina. Os autores notaram uma relação inversa entre a solubilidade do colágeno e a quantidade de piridinolina. O rápido crescimento das aves neste estudo e o aumento da síntese de colágeno resultaram em uma carne mais macia em razão de menos formações de ligações cruzadas de colágeno.

Nos vertebrados são encontrados mais de 30 tipos de colágenos distribuídos de acordo com a especificação de cada tecido (Velleman; Clark, 2015). Os diferentes tipos de colágeno são distribuídos em numerais romanos de I a XXVIII, dependendo da ordem cronológica em que foram descobertos (Purslow, 2017) e podem ser divididos em três grupos diferentes em: colágeno fibrilar, não fibroso e microfibrilar. Entretanto os mais importantes para a qualidade da carne são os tipos I, II, III (colágeno fibrilar), IV (colágeno não fibroso) e V (colágeno microfibrilar) (Ramos; Gomide, 2017).

Os colágenos tipo I e III (Tabela 2) formam fibras grandes e finas, respectivamente (Barbut, 2015) e são as principais formas fibrosas nos tecidos conjuntivos intramusculares de mamíferos e aves (Purslow, 2014). De acordo com Nishimura (2015), é provável que os colágenos do tipo I, III, V e VI sejam essenciais para formar e manter a estrutura do endomísio e perimísio.

O colágeno tipo I consiste em duas cadeias iguais ( $\alpha 1 (I)_2$ ) e uma diferente ( $\alpha 2 (I)$ ). Está presente na pele, ossos, tendões, ligamentos e dentes. Sua função é fornecer resistência contra a força, tensão e estiramento. Em contrapartida, o tipo III consiste em três cadeias idênticas  $\alpha 1 (III)_3$  e constitui as fibras reticulares, as quais apresentam mais resíduos de carboidratos que outros tipos de colágeno. Sua função é proporcionar suporte

estrutural para mobilidade celular e localiza-se nos vasos sanguíneos, feixes nervosos, unidades secretoras de glândulas, ductos e elementos do estroma de órgãos celulares, como o baço e fígado (Samuelson, 2007).

Tabela 2 - Características dos colágenos tipo I e III encontrados no tecido conjuntivo

Tipo de colágeno	Genes	Estrutura molecular	Classificação	Localização
I	COL1A1, COL1A2	$\alpha 1 (I)_2, \alpha 2 (I)$	Formadores de fibrilas	Perimísio e endomísio
III	COL3A1	$\alpha 1 (III)_3$		

Fonte: Adaptado de Purslow (2017).

O músculo esquelético consiste em colágeno tipos I e III, ambos de natureza fibrilar (Velleman; Clark, 2015). Na idade de abate, o músculo peitoral do frango de corte é composto principalmente de colágeno tipo I. Contudo, não se sabe atualmente como esses tipos de colágeno (I e III) são afetados pela presença de lesões musculares nos filés de frangos de corte de linhagens modernas (Velleman; Clark; Tonniges, 2017).

Durante o cozimento da carne, o aquecimento do colágeno pode romper as ligações cruzadas e transformá-lo em gelatina. Durante este aquecimento ocorre o amolecimento da estrutura do colágeno, devido ao encolhimento de suas fibras que pressurizam as fibras musculares que dependem do grau das ligações cruzadas e da organização do endomísio e do perimísio (Listrat et al., 2016). Na presença de água, parte das fibras colágenas se torna solúvel durante o cozimento a partir de 67 °C e são convertidas em gelatina solúvel acima de 80 °C. A medida que o tempo de exposição e a temperatura aumentam, mais colágeno será convertido em gelatina (Barbut, 2015; Lawrie; Ledward, 2006).

Burson e Hunt (1986) com o objetivo de avaliarem a influência do aquecimento nos colágenos tipos I e III no músculo, observaram que o aquecimento em temperatura altas (70 e 90 °C) favorece o aumento da porcentagem de colágeno solubilizado. Segundo os autores, o colágeno tipo I parece ser mais facilmente solubilizado pelo calor que do tipo III, em virtude de conter mais ligações cruzadas do que o colágeno tipo III. A hipótese desta pesquisa é que o aumento na porcentagem de colágeno solúvel em temperaturas elevadas associado a melhorias na maciez, pode ser devido a uma solubilização mais induzida pelo calor do colágeno tipo I do que do tipo III.

Alguns componentes da MEC, como os proteoglicanos, atuam na formação e na estabilidade das fibrilas e fibras de colágeno, como por exemplo a decorina (Nishimura, 2015). A decorina é um proteoglicano de tamanho pequeno rico em leucina, que exerce função importante na regulação do diâmetro da fibra de colágeno, no crescimento das fibras musculares (Purslow, 2014) e da reticulação do colágeno (Velleman; Clark, 2015).

#### **4.4.6 Avaliação sensorial**

A análise sensorial compreende o estudo da ciência capaz de evocar, medir, analisar e interpretar as respostas humanas em relação as características dos alimentos à medida que elas são percebidas pelos sentidos da visão, olfato, paladar, tato e audição (Lucia; Minim; Carneiro, 2018). Aparência, aroma, sabor e textura são características de qualidade medidas pelo uso dos sentidos, os quais são testados pelos humanos (provadores) que medem essas características (atributos sensoriais), avaliando produtos e incluindo suas respostas em questionários de papel ou via eletrônico (Lyon et al., 2010).

A avaliação sensorial pode ser realizada através de métodos instrumentais e humanos, embora definir qual metodologia utilizar dependerá exclusivamente do objetivo principal e conforme a finalidade de cada método. Pessoas, por exemplo, avaliam as características sensoriais dos alimentos e fornecem suas respostas com base em suas experiências reais, por outro lado, os instrumentos medem características físicas ou químicas que poderiam ser influenciadas pelo ser humano (Lyon et al., 2010). Embora a avaliação humana possa ser mais complexa em virtude de sua capacidade inata de sentir estímulos diferentes (Lucia; Minim; Carneiro, 2018), a variabilidade dos seres humanos é reflexo de nossas experiências por alimentos específicos que podem variar de acordo com a cultura, localização geográfica, práticas de produção, preparação, gostos individuais, idade, sexo, entre outros (Curtis, 2013). Dessa forma, o trabalho conjunto de ambos métodos pode ser eficaz para melhor compreensão dos resultados em pesquisas futuras.

Os métodos sensoriais realizados em humanos podem ser classificados em testes discriminatórios, descritivos e afetivos. Os testes discriminatórios são utilizados para determinarem diferenças qualitativas e/ou quantitativas entre as amostras, enquanto que os testes descritivos descrevem propriedades sensoriais e suas intensidades percebidas do produto, não oferecem opinião e exigem treinamento dos provadores. Por outro lado, os testes afetivos não exigem treinamento dos provadores e são interessantes pois indicam a preferência ou aceitação de um determinado produto (Bratcher, 2013).

Painéis de provadores não treinados nem sempre são capazes de detectar as diferenças mínimas que podem ser detectados em relação ao painel de provadores treinados, por este motivo são utilizados para determinarem como um produto será percebido no mercado e oferecem opiniões sobre a aceitação ou preferência dos produtos (Curtis, 2013). Desta forma, os testes de preferência e de aceitação, classificados como testes afetivos quantitativos, são utilizados para avaliar as respostas dos consumidores em relação às suas preferências ao comparem dois ou mais produtos e o grau em que gostam ou desgostam do produto, respectivamente (Lucia; Minim; Carneiro, 2018).

#### **4.5 Anormalidades no músculo do peito (*Pectoralis major*) de frangos de corte**

Com o propósito de elevar os padrões de qualidade da carne de frango baseado na melhoria das características sensoriais e das propriedades funcionais, o avanço genético incorporou forte pressão sobre a taxa de crescimento nas aves que resultaram em alterações histológicas e bioquímicas no tecido muscular e como consequência afetou os atributos de qualidade da carne (Petracci; Cavani, 2012). No entanto, este avanço genético para melhorar o desempenho zootécnico das aves e dos aspectos qualitativos da carne ocasionou vários tipos de defeitos musculares ou miopatias que representam grande perda econômica para a indústria avícola (Maiorano, 2017). Essas anormalidades localizadas no músculo do peito, *Pectoralis major*, atrelado ao melhoramento genético nas linhagens atuais proporcionaram mudanças significativas na estrutura muscular e no estado metabólico dos frangos de corte (Petracci; Soglia; Berri, 2017).

Segundo Kijowski et al. (2014) o termo miopatia refere-se a doenças musculares ou degenerações que não são causadas por alterações nos nervos, mas que fornecem e diferem em sua patogênese e desenvolvimento.

Embora sua causa não seja ainda esclarecida, pesquisas sugeriram que a taxa de crescimento acelerado seja a hipótese mais provável relacionada ao surgimento das miopatias. Petracci et al. (2015) e Petracci, Soglia e Berri (2017) relataram que a taxa de crescimento acelerado no músculo peitoral altera o metabolismo muscular induzindo ao início de características degenerativas. Para os autores, o aumento da produção de radicais livres e o acúmulo de cálcio intracelular podem favorecer alterações na integridade da membrana fibrosa e da degradação de proteínas devido à ativação de proteases e lipases, as quais podem levar a necrose da fibra que ultrapassa a capacidade regenerativa do músculo.

De acordo com Petracci, Soglia e Berri (2017) no músculo peitoral, em razão do metabolismo anaeróbico, frangos de corte são mais susceptíveis a desenvolverem defeitos relacionados ao metabolismo muscular, pois o espaçamento entre o tecido conjuntivo do endomísio e perimísio é pequeno e isso pode reduzir o espaço disponível para os capilares limitando a quantidade de ácido láctico removido do músculo. Desta forma, com a eliminação inadequada de produtos intermediários do metabolismo muscular, como o dióxido de carbono e ácido láctico, a funcionalidade da fibra pode ser lesionada e resultar em desregulação homeostática.

Pesquisas relataram que apesar de não apresentarem lesões ou alterações macroscópicas no músculo peitoral, filés de frangos normais selecionados para crescimento acelerado e de alto rendimento de peito apresentaram miodegeneração leve associado com a presença de fibras anormais de tamanho grande e pequeno, degenerações musculares, necrose e infiltração de gordura e tecido conjuntivo (Kawasaki et al., 2018; Mazzoni et al., 2015; Petracci et al., 2013a; Russo et al., 2015). De fato, estes resultados indicam que lesões musculares ou miopáticas também são comuns em frangos de corte modernos.

#### **4.5.1 *Wooden breast***

Mencionada como peito ‘amadeirado’ (*woody*) ou “de madeira” (*wooden*), a miopatia *wooden breast* (WB) é identificada pela consistência dura semelhante a uma textura de madeira (Sanchez Brambila et al., 2018) e foi descrita pela primeira vez em 2014 na Finlândia no músculo do peito de frangos de corte (Sihvo; Immonen; Puolanne, 2014).

Identificada após o abate de forma manual, através da detecção palpatória (Tijare et al., 2016), a miopatia WB (Figura 4) apresenta aspectos endurecidos difusos ou em áreas focais e além de serem pálidas podem estar cobertas com uma fina camada de material viscoso, claro ou levemente turvo e com várias petéquias ou pequenas hemorragias distribuídas multifocalmente (Sihvo; Immonen; Puolanne, 2014). Dependendo da severidade, filés podem apresentar protuberância na extremidade caudal e estrias ou listras brancas finas visíveis entre as fibras musculares (De Brot et al., 2016; Sihvo et al., 2017). Conforme o grau de severidade (Figura 4) a miopatia WB pode ser classificada (Sihvo et al., 2017) em filés normais ou grau 0 (cor e consistência normal), filés moderados ou grau 1 (consistência endurecida e cor pálida na área cranial com

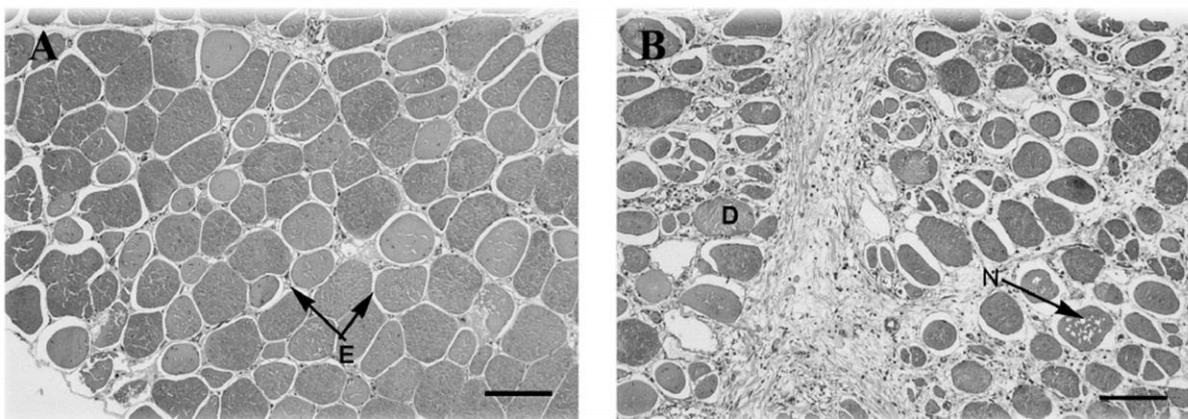
poucas estrias brancas) e filés severos ou grau 2 (endurecido e pálido no músculo inteiro e com várias listras brancas).



**Figura 4.** Escores de *wooden breast* em filés de peito de frangos de corte.

Fonte: Sihvo et al. (2017).

Análises histológicas verificaram que peitos acometidos por esta miopatia apresentam poucas fibras e de tamanhos diferentes, ausência de forma poligonal característico das miofibras, degeneração e necrose das fibras, substituição ou infiltração de tecido conjuntivo (fibrose), rico em colágeno, e células de adipócitos (lipidose) separando as fibras musculares (Figura 5). Em alguns filés há a infiltração de células inflamatórias como heterófilos e macrófagos, geralmente dentro ou ao redor da fibra em degeneração (Sihvo; Immonen; Puolanne, 2014; Trocino et al., 2015; Velleman; Clark, 2015). Essas modificações no músculo alteram não apenas o processamento na indústria, mas a qualidade final da carne (Velleman; Clark, 2015).



**Figura 5.** Histomorfologia do músculo peitoral de frangos de corte normais (A) e com *wooden breast* (B). E = endomísio. D = degeneração muscular. N = necrose.

Fonte: Velleman e Clark (2015).

Velleman e Clark (2015) e Velleman, Clark e Tonniges (2017), constataram que os processos fibróticos que envolvem o aumento da deposição do colágeno nas áreas do tecido conjuntivo do perimísio e endomísio, são diferentes nos filés de peito em linhagens de frangos de corte de crescimento rápido. Velleman, Clark e Tonniges (2017) sugeriram que o aumento da dureza do músculo afetado pela WB é possivelmente em virtude da extensão e das características estruturais do colágeno fibrótico e não apenas ao aumento da concentração de colágeno. Tais características incluem o diâmetro da fibrila, reticulação, densidade da fibrila, conteúdo de glicosaminoglicano, alinhamento da fibrila e organização geral da rede de fibrilas de colágeno (Velleman; Clark; Tonniges, 2017).

Velleman e Clark (2015) observaram que a miopatia *wooden breast* em frangos de corte em linhagens de crescimento rápido (A e B) em comparação com linhagens de crescimento lento (C, sem miopatia) foi caracterizado morfológicamente por necrose, fibrose e regeneração das fibras musculares. Entretanto a fibrose, infiltração de tecido conjuntivo oriundo de um processo de cicatrização, nas linhagens com miopatia mostrou-se uma distribuição e arranjo das fibrilas de colágeno diferentes. Os autores evidenciaram que as fibrilas de colágenos foram compactadas e difusas. A justificativa, segundo os autores, é que esta diferenciação na organização do colágeno provavelmente seja devido à expressão gênica de decorina na matriz extracelular que foi quantitativamente maior nas linhagens com miopatia.

Ao verificarem a estrutura e a organização fibrilar do colágeno em três diferentes linhagens de frangos de corte com *Wooden breast*, Velleman, Clark e Tonniges (2017) sugeriram que alterações no comprimento e diâmetro das fibrilas de colágeno são consequência direta do arranjo ordenado da molécula de colágeno e que tais alterações são indicativos de modificações no empacotamento molecular dos monômeros de colágeno, que podem afetar sua função e alterar os sítios de ligação das proteínas ou a flexibilidade da fibrila de colágeno.

Estudos revelaram que filés de frangos de corte com WB apresentam aspectos qualitativos da carne inferiores que podem impactar de forma negativa a cadeia avícola. Quando comparado aos filés normais, filés com WB possuem maiores perdas por cozimento (%) e gotejamento (%), maiores valores de pH, menor absorção de marinação (%) e maiores teores de  $a^*$  e  $b^*$  (Dalle Zotte et al., 2017; Mudalal et al., 2015; Tasoniero et al., 2016). Tais propriedades tecnológicas inferiores podem ser devido a alterações no

tecido muscular após degenerações de músculos anormais. No entanto, quando comparado à miopatia *white striping* os desafios para reduzir WB são maiores, uma vez que peitos acometidos por *wooden breast* podem apresentar maiores perdas por cozimento (%) e menor absorção de marinação (%) em relação a *white striping*, indicando que os danos nas fibras musculares podem ser mais severos em filés com WB (Mudalal et al., 2015; Tasoniero et al., 2016).

Embora sua causa não tenha sido completamente elucidada, pesquisas têm associado sua incidência diretamente com o aumento da taxa de crescimento e peso do filé de peito (Kuttappan et al., 2017; Sanchez Brambila et al., 2018). Por outro lado, estudos sobre sequenciamento de RNA em aves afetadas pelas miopatias estabeleceram perfil característico de expressão gênica para as aves. Mutryn et al. (2015) sugeriram que a hipóxia muscular, estresse oxidativo (ocasionado pela degeneração muscular) e níveis aumentados de cálcio intracelular são fatores contribuintes para a miopatia WB. Outra possibilidade, por exemplo, é o excesso da produção de decorina que aumenta a reticulação do colágeno, fator que contribui para o aumento da dureza de WB (Velleman; Clark, 2015).

Abasht et al. (2016) caracterizaram o perfil metabólico de filés de frangos de corte acometidos pela WB e verificaram que além do estresse oxidativo, houve alteração do metabolismo de aminoácidos e carboidratos, devido aos níveis elevados de histidina acompanhados por acúmulo de histamina (associado a dor e inflamação) e redução do glicogênio muscular combinados com níveis reduzidos de enzimas glicolíticas (glicose 6 fosfato e frutose 6 fosfato) e produtos finais (lactato e piruvato), respectivamente. Zambonelli et al. (2016), através do perfil de transcrição gênica, verificaram que além do estresse oxidativo, inflamação, degeneração e regeneração das fibras musculares, o surgimento de miopatias (WS e WB) está relacionado com a síntese de proteoglicanos, alterações no metabolismo de glicose e via de sinalização de cálcio.

Análises que proporcionam esclarecimentos sobre as vias bioquímicas e alterações genéticas são fundamentais para o entendimento dos filés com WB, como por exemplo a avaliação proteômica (Schilling et al., 2017). Através do estudo no perfil proteômico em filés normais e com WB de frangos de corte, Cai et al. (2018) observaram oito proteínas expressas diferentemente entre os filés normais e WB. Este resultado demonstrou que filés com WB apresentou aumento do estresse oxidativo (indicado pela enzima Anidrase carbônica III) e menor quantidade de enzimas glicolíticas (importante

para regeneração de ATP em músculos *post mortem*) quando comparados aos filés normais.

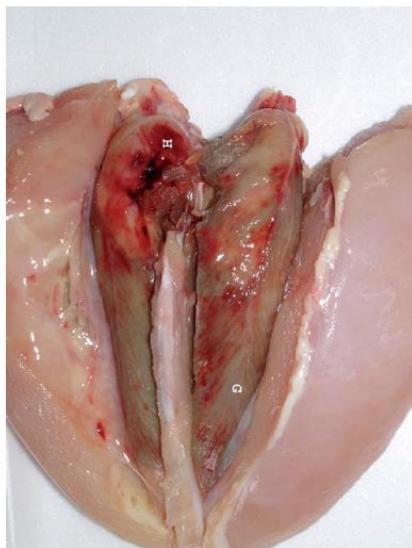
Estudos recentes relataram que alterações iônicas ocasionados pelo aumento de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e sódio ( $\text{Na}^+$ ), e a redução do suprimento sanguíneo na fase inicial de WB que podem estar relacionadas às mudanças ultra-estruturais no desequilíbrio osmótico, são fatores que podem contribuir para melhor compreensão da etiologia de WB (Sihvo et al., 2018; Soglia et al., 2016). Esses fatores estão relacionados com a regulação de íons intracelulares mediante o desenvolvimento de danos musculares nos músculos das aves (Sandercock; Mitchell, 2004).

#### **4.5.2 Miopatia peitoral profunda**

Conhecida como doença de Oregon ou doença do músculo verde, a miopatia peitoral profunda (MPP) foi descrita pela primeira vez em 1967-1968 como “miopatia degenerativa” em criações de perus no Canadá, Estados Unidos (EUA) e na Grã-Bretanha e, posteriormente, estudada com maior detalhe na Universidade Estadual de Oregon nos EUA (Kijowski et al., 2014; Maiorano, 2017; Petracci; Soglia; Berri, 2017).

Considerada um grave problema de qualidade em linhas de abate de aves (PaschoaL; Santos, 2013) devido afetar uma parte nobre do frango, a MPP lesiona principalmente o músculo *supracoracoideus* ou *Pectoralis minor*, conhecido popularmente como sassami (Figura 6). As lesões nos músculos não prejudicam a saúde das aves e são identificadas no momento do corte e da desossa (Kijowski et al., 2014). Não há riscos para a saúde humana, no entanto é visualmente indesejável (Dinev; Kanakov, 2011; Petracci; Cavani, 2012).

Dinev e Kanakov (2011) relataram a incidência de 0,51% de MPP em frangos de corte na Bulgária, oriundos de 20000 mil frangos das linhagens Ross 308 e Cobb 500 de ambos os sexos, abatidos com 7 semanas de idade. Os autores verificaram maior incidência de lesões totais (0,64 vs 0,37%) em frangos pesados (2,6 kg de peso vivo e 1,9 kg de carcaça) quando comparado aos frangos leves (2,3 kg de peso vivo e 1,7 kg de carcaça). Além disso, macroscopicamente os autores observaram edema, hiperemia e hemorragias acompanhados de material gelatinoso e mudanças de cores de amarelo, vermelho e verde intenso (Figura 6). Histologicamente, os autores observaram alterações necróticas degenerativas das fibras, infiltração e células inflamatórias (macrófagos e leucócitos heterofilos) e substituição das fibras musculares por tecido adiposo e fibroso.



**Figura 6.** Miopatia peitoral profunda em filés de frangos de corte.  
Fonte: Dinev e Kanakov, 2011.

Não diagnosticada em aves vivas, as lesões da MPP ficam perceptíveis em função das transformações de cores e da textura no *post mortem*. A progressão desta miopatia pode ser dividida em duas fases de desenvolvimento (lesões iniciais e antigas) e classificadas em três categorias (I, II e III) de acordo com o grau de severidade (Kijowski; Konstańczak, 2009).

Na Polônia, Kijowski e Konstanczark (2009) observaram a ocorrência de 0,06% de MPP provenientes de 167.610 mil aves com peso médio de 2,5 kg. Além disso, verificaram diferenças nas fases de desenvolvimento nos parâmetros de cor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) e da força de cisalhamento em frangos de corte de 35 a 42 dias de idade.

Desacelerar a taxa de crescimento de frangos de corte pode ser fator decisivo na prevenção da MPP, entretanto pesquisas associaram sua ocorrência com o movimento excessivo das asas, idade, linhagem genética, sexo (maior incidência nos machos), alto rendimento de carne de peito e taxa de crescimento acelerado (Bailey et al., 2015; Dinev; Kanakov, 2011; Kijowski et al., 2014; Kijowski; Konstańczak, 2009; PaschoaL; Santos, 2013).

#### **4.5.3 White striping**

Descrita em 2009, a estriação branca ou *White striping* (WS), é uma condição visualmente caracterizada pela ocorrência de estrias brancas paralelas às fibras musculares que acomete, principalmente, o músculo peitoral de frangos de corte e em menor grau as coxas e sobrecoxas (Kuttappan et al., 2012b; Kuttappan; Hargis; Owens,

2016). De acordo com o grau de severidade (Figura 7) a WS pode ser classificada (Kuttappan; Hargis; Owens, 2016) em filés normais (grau 0), moderado com pequenas estrias brancas e menor que 1 mm de espessura (grau 1), severo com estrias brancas de 1 a 2 mm de espessura (grau 2) e estrias brancas grossas maior que 2 mm de espessura cobrindo toda a superfície do músculo (grau 3).



**Figura 7.** Escore de *white striping* em filés de peito de frangos de corte.

Fonte: Kuttappan et al. (2016).

Esta miopatia afeta a qualidade da carne, pois aves acometidas pelos graus mais severos apresentam maiores níveis de pH e gordura, menor conteúdo proteico, além de maiores perdas por cozimento (%) quando comparado aos filés de peito normais (Petracci et al., 2013b, 2014). Outro aspecto importante é a aceitabilidade negativa pelos consumidores em relação a WS. Kuttappan et al. (2012a) ao analisarem a aceitação e intenção de compra dos consumidores em relação aos filés de peito de frangos de corte com WS, verificaram que os consumidores, com base na aparência, não comprariam filés de peito nos graus moderado ou severo e conforme o aumento da severidade menor era a aceitação por parte dos consumidores. Os principais motivos que levaram os consumidores a rejeitarem os filés com WS foram a aparência gordurosa, presença de estrias brancas e a coloração da carne.

Ao estudarem duas linhagens genéticas de frangos de corte selecionadas para alto e moderado rendimento de peito, Bailey et al. (2015) notaram baixa herdabilidade (0,02 a 0,10) para MPP e WB em ambas as linhagens, sugerindo que há uma forte base não genética que explica as variações dessas anormalidades, ou seja, condições ambientais ou de manejo podem ter maior influência na ocorrência dessas miopatias. Por

outro lado, nas mesmas linhagens a herdabilidade para WS foi de 0,19 a 0,34, indicando que existe um componente genético maior para sua incidência.

Quando identificados juntos em um mesmo filé, WS e WB podem representar perdas qualitativas, nutricionais e econômicas consideráveis para a indústria avícola (Soglia et al., 2016; Tasoniero et al., 2016; Tijare et al., 2016), apesar de não estar claro se uma é determinante da outra. Embora sua etiologia seja desconhecida até os dias atuais, estudos recentes demonstraram que a ocorrência de WS está associada com aves mais pesadas, idade elevada, sexo, taxa de crescimento acelerado, restrição alimentar, níveis crescentes de lisina na dieta, linhagem genética e maior rendimento de peito (Cruz et al., 2017; Kuttappan et al., 2013, 2017; Russo et al., 2015; Soglia et al., 2016; Trocino et al., 2015).

No norte da Itália, Russo et al. (2015) notaram alta prevalência de WS (78%) e encontraram maiores lesões macroscópicas e histológicas em frangos de corte pesados (3,64 kg e 55 dias de idade) quando comparados com frangos de peso médio (2,59 kg e 46 dias de idade). Esta diferença, segundo os autores, foi relacionada a idade avançada e a maior massa muscular. Na análise histológica, filés afetados com WS foram identificados com degeneração, necrose multifocal e polifásica. Entretanto, apesar da ausência de lesões, filés de peito normais foram afetados por alterações leves, como degeneração muscular e infiltração de gordura.

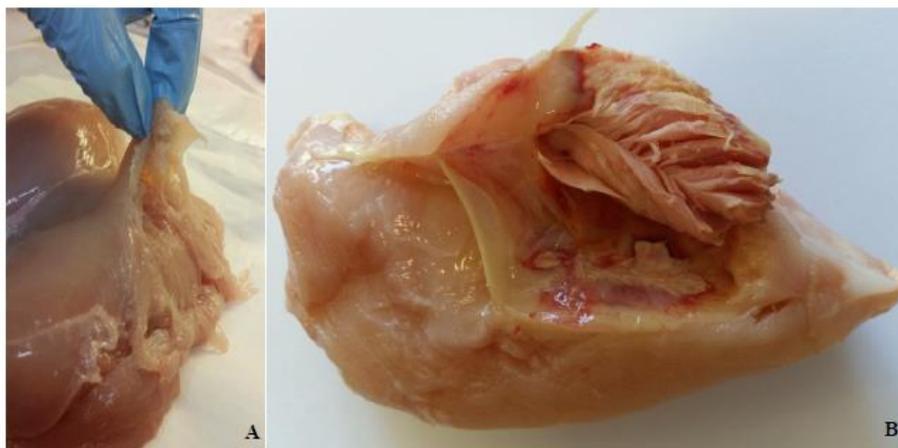
#### **4.5.4 *Spaghetti meat***

Petracci e Cavani (2012) mencionaram que a falta de coesão na carne devido a imaturidade do tecido conjuntivo intramuscular em relação a idade de abate precoce das linhagens atuais é um problema de qualidade emergente em frangos e perus.

Atualmente, foi observada uma nova anormalidade no músculo peitoral de frangos de corte (Figura 8) denominada de carne espaguete (*Spaghetti meat - SM*) ou peito espaguete (*Spaghetti breast*), que exibe integridade estrutural alterada do filé de peito e pode ser identificada simultaneamente com a miopatia *white striping* (Baldi et al., 2018; Sirri et al., 2016).

A SM é caracterizada por apresentar o tecido conjuntivo intramuscular imaturo, ao qual modifica a integridade estrutural do músculo do peito (Maiorano, 2017). Este defeito proporciona má coesão da carne que torna-se frouxa na estrutura e os feixes de fibras musculares podem ser separados facilmente com os dedos (Figura 8). A SM pode ser classificada de acordo com a severidade da coesão no filé de peito em grau 0 (sem

coesão), grau 1 (estrutura frouxa moderada perceptível ao toque na superfície cranial) e grau 2 (lacerações superficiais extensas) (Sirri et al., 2016).



**Figura 4.** Carne espaguete em filés de frangos de corte.

Fonte: Maiorano (2017).

Semelhante a MPP, WS e WB, a SM altera as características de qualidade, histológicas, centesimais e medidas morfométricas dos filés de peito de frangos de corte. Baldi et al. (2018) relataram menor teor de proteína atrelado ao maior nível de umidade nos filés de peito acometidos pela SM em relação aos filés normais, além de infiltração de gordura e tecido conjuntivo, observaram aumento da porção de água extra-miofibrilar em relação a água contida no meio intra-miofibrilar, representando desta forma menor capacidade de retenção de água. Os autores notaram que a miopatia SM apresenta uma diminuição progressiva do endomísio e perimísio, na qual possivelmente está envolvida em uma integridade estrutural alterada na superfície do músculo peitoral.

## 5 Referências Bibliográficas

ABASHT, B. et al. Oxidative Stress and Metabolic Perturbations in Wooden Breast Disorder in Chickens. **PLoS ONE**, v. 11, n. 4, p. 1–16, 2016.

ABERLE, E. . et al. **Principles of Meat Science**. 4. ed. Dubuque: Publishing Company, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL - ABPA. **Relatório Anual 2018**. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/storage/files/relatorio-anual-2018.pdf>>. Acesso em: 3 set. 2018.

BACILA, M. **Bioquímica Veterinária**. 2. ed. São Paulo: Editorial, ROBE, 2003.

BAILEY, J. G. Fisiologia Muscular. In: REECE, W. O. (Ed.). . **Dukes Fisiologia dos animais domésticos**. 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006. p. 811–830.

BAILEY, R. A. et al. The genetic basis of pectoralis major myopathies in modern broiler

chicken lines. **Poultry Science**, v. 94, p. 2870–2879, 2015.

BALDI, G. et al. Implications of white striping and spaghetti meat abnormalities on meat quality and histological features in broilers. **Animal**, v. 12, p. 164–173, 2018.

BARBUT, S. **The Science of Poultry and Meat Processing, 2015**. Disponível em: <<http://www.poultryandmeatprocessing.com/>>. Acesso em: 31 ago. 2018.

BERRI, C. et al. Consequence of muscle hypertrophy on characteristics of Pectoralis major muscle and breast meat quality of broiler chickens. **Journal of Animal Science**, v. 85, n. 8, p. 2005–2011, 2007.

BOWKER, B. Developments in Our Understanding of Water- Holding Capacity. In: PETRACCI, M.; BERRI, C. CILE (Eds.). **Poultry Quality Evaluation: Quality Attributes and Consumer Values**. 1. ed. Cambridge: Woodhead Publishing, 2017. p. 77–103.

BOWKER, B.; ZHUANG, H. Relationship between water-holding capacity and protein denaturation in broiler breast meat. **Poultry Science**, v. 94, p. 1657–1664, 2015.

BRANCIARI, R. et al. Effect of genotype and rearing system on chicken behavior and muscle fiber characteristics. **Journal of Animal Science**, v. 87, p. 4109–4117, 2009.

BRATCHER, C. L. Trained Sensory Panels. In: KERTH, C. R. (Ed.). **The Science of Meat Quality**. Iowa: Wiley-Blackwell, Ames, 2013. p. 207–213.

BROSSI, C. et al. Estresse térmico durante o pré-abate em frangos de corte. **Ciência Rural**, v. 39, n. 4, p. 1296–1305, 2009.

BURSON, D. E.; HUNT, M. C. Heat-induced Changes in the Proportion of Types I and III Collagen in Bovine Longissimus dorsi. **Meat Science**, v. 17, p. 153–160, 1986.

CAI, K. et al. Meat quality traits and proteome profile of woody broiler breast (pectoralis major) meat. **Poultry Science**, v. 97, p. 337–346, 2018.

CHATTERJEE, D. et al. Instrumental texture characteristics of broiler pectoralis major with the wooden breast condition. **Poultry Science**, v. 95, p. 2449–2454, 2016.

CLARK, D.; HARDING, R. Myogenesis Muscle Growth and Structure. In: PETRACCI, M.; BERRI, C. CILE (Eds.). **Poultry Quality Evaluation: Quality Attributes and Consumer Values**. 1. ed. Cambridge: Woodhead Publishing, 2017. p. 29–44.

CLARK, D. L.; WALTER, K. G.; VELLEMAN, S. G. Incubation temperature and time of hatch impact broiler muscle growth and morphology. **Poultry Science**, v. 96, p. 4085–4095, 2017.

CORÓ, F. A. G.; YOUSSEF, E. Y.; SHIMOKOMAKI, M. Age related changes in poultry breast meat collagen pyridinoline and texture. **Journal of Food Biochemistry**, v. 26, p. 533–541, 2003.

CRUZ, R. F. A. et al. Occurrence of white striping and wooden breast in broilers fed grower and finisher diets with increasing Lysine levels. **Poultry Science**, v. 96, p. 501–510, 2017.

CURTIS, P. C. Untrained Sensory Panels. In: KERTH, C. R. (Ed.). **The Science of Meat Quality**. Iowa: Wiley-Blackwell, Ames, 2013. p. 215–231.

- DALLE ZOTTE, A. et al. Effect of “wooden breast” appearance on poultry meat quality, histological traits, and lesions characterization. **Czech Journal of Animal Science**, v. 62, n. 2, p. 51–57, 2017.
- DE BROT, S. et al. Wooden breast lesions in broiler chickens in the UK. **Veterinary Record**, v. 178, n. 6, p. 141, 2016.
- DINEV, I.; KANAKOV, D. Deep pectoral myopathy : prevalence in 7 weeks old broiler chickens in Bulgaria. **Revue de Médecine Vétérinaire**, v. 162, n. 6, p. 279–283, 2011.
- DRANSFIELD, E.; SOSNICKI, A. A. Relationship between muscle growth and poultry meat quality. **Poultry Science**, v. 78, p. 743–746, 1999.
- FEINER, G. **Meat products handbook: Pratical science and technology**. 1. ed. Cambridge: Woodhead Publishing, 2006.
- FLETCHER, D. L. Poultry meat quality. **World’s Poultry Science Journal**, v. 58, p. 131–145, 2002.
- GOMIDE, L. A. DE M.; RAMOS, E. M.; FONTES, P. R. **Ciência e Qualidade da Carne: Fundamentos**. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2013.
- HAVENSTEIN, G. B.; FERKET, P. R.; QURESHI, M. A. Growth, Livability, and Feed Conversion of 1957 Versus 2001 Broilers Diets. **Poultry Science**, v. 82, p. 1500–1508, 2003.
- HITCHCOCK-DEGREGORI, S. E.; IRVING, T. C. Hugh E. Huxley: The Compleat Biophysicist. **Biophysical Journal**, v. 107, n. 7, p. 1493–1501, 2014.
- HOPKINS, D. L.; LITTLEFIELD, P. J.; THOMPSON, J. M. A research note on factors affecting the determination of myofibrillar fragmentation. **Meat Science**, v. 56, p. 19–22, 2000.
- HUGHES, J. M. et al. A structural approach to understanding the interactions between colour, water-holding capacity and tenderness. **Meat Science**, v. 98, p. 520–532, 2014.
- ISMAIL, I.; JOO, S.-T. Poultry Meat Quality in Relation to Muscle Growth and Muscle Fiber Characteristics. **Korean Journal for Food Science of Animal Resources**, v. 37, n. 6, p. 873–883, 2017.
- JANISCH, S.; KRISCHEK, C.; WICKE, M. Color values and other meat quality characteristics of breast muscles collected from 3 broiler genetic lines slaughtered at 2 ages. **Poultry Science**, v. 90, p. 1774–1781, 2011.
- JOINER, K. S. et al. Evaluation of Capillary and Myofiber Density in the Pectoralis Major Muscles of Rapidly Growing, High-Yield Broiler Chickens During Increased Heat Stress. **Avian Diseases**, v. 58, p. 377–382, 2014.
- JOO, S. T. et al. Control of fresh meat quality through manipulation of muscle fiber characteristics. **Meat Science**, v. 95, p. 828–836, 2013.
- KAWASAKI, T. et al. Rapid growth rate results in remarkably hardened breast in broilers during the middle stage of rearing: A biochemical and histopathological study. **PLoS ONE**, v. 13, n. 2, p. 1–14, 2018.
- KIJOWSKI, J. et al. Paradigm of deep pectoral myopathy in broiler chickens. **World’s Poultry Science Journal**, v. 70, n. 1, p. 125–138, 2014.

- KIJOWSKI, J.; KONSTAŃCZAK, M. Deep pectoral myopathy in broiler chickens. **Bull Vet Inst Pulawy**, v. 53, p. 487–491, 2009.
- KLEIN, B. G.; CUNNINGHAM, J. G. Neurofisiologia. In: **Cunningham tratado de fisiologia veterinária**. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. p. 68–75.
- KOOMKRONG, N. et al. Breed-related number and size of muscle fibres and their response to carcass quality in chickens. **Italian Journal of Animal Science**, v. 14, p. 638–642, 2015.
- KUTTAPPAN, V. A. et al. Consumer acceptance of visual appearance of broiler breast meat with varying degrees of white striping. **Poultry Science**, v. 91, p. 1240–1247, 2012a.
- KUTTAPPAN, V. A. et al. Effect of different levels of dietary vitamin E (DL- $\alpha$ -tocopherol acetate) on the occurrence of various degrees of white striping on broiler breast fillets. **Poultry Science**, v. 91, p. 3230–3235, 2012b.
- KUTTAPPAN, V. A. et al. Estimation of factors associated with the occurrence of white striping in broiler breast fillets. **Poultry Science**, v. 92, p. 811–819, 2013.
- KUTTAPPAN, V. A. et al. Incidence of broiler breast myopathies at 2 different ages and its impact on selected raw meat quality parameters. **Poultry Science**, v. 96, p. 3005–3009, 2017.
- KUTTAPPAN, V. A.; HARGIS, B. M.; OWENS, C. M. White striping and woody breast myopathies in the modern poultry industry: A review. **Poultry Science**, v. 95, p. 2724–2733, 2016.
- LAWRIE, R. A.; LEDWARD, D. **Lawrie's meat science**. 7. ed. Cambridge: Woodhead Publishing, 2006.
- LEE, S. H.; JOO, S. T.; RYU, Y. C. Skeletal muscle fiber type and myofibrillar proteins in relation to meat quality. **Meat Science**, v. 86, p. 166–170, 2010.
- LEE, Y.; XIONG, R.; MEULLENET, J. F. Prediction of sensory texture of broiler breast meat using instrumental spectral stress-strain analysis. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 49, p. 2269–2275, 2014.
- LEYGONIE, C.; BRITZ, T. J.; HOFFMAN, L. C. Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review. **Meat Science**, v. 91, p. 93–98, 2012.
- LISTRAT, A. et al. How Muscle Structure and Composition Influence Meat and Flesh Quality. **The Scientific World Journal**, p. 1–14, 2016.
- LOMIWES, D. et al. The development of meat tenderness is likely to be compartmentalised by ultimate pH. **Meat Science**, v. 96, p. 646–651, 2014.
- LÓPEZ-BOTE, C. Chemical and Biochemical Constitution of Muscle. In: TOLDRA, F. (Ed.). **Lawrie's Meat Science**. 8. ed. Cambridge: Woodhead Publishing, 2017. p. 99–158.
- LUCIA, S. M. DELLA; MINIM, V. P. R.; CARNEIRO, J. DE D. S. Análise Sensorial de Alimentos. In: MINIM, V. P. R. (Ed.). **Análise Sensorial: Estudos com Consumidores**. 4. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2018. p. 13–49.
- LYON, B. G. et al. Meat quality: Sensory and instrumental evaluations. In: OWENS, C.

- M.; ALVARADO, C. Z.; SAMS, A. R. (Eds.). **Poultry Meat Processing**. 2. ed. New York: CRC Press, Boca Raton, FL, 2010. p. 125–155.
- MADEIRA, L. A. et al. Morfologia das fibras musculares esqueléticas de frangos de corte de diferentes linhagens criados em sistemas de confinamento e semiconfinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 6, p. 2322–2332, 2006.
- MADEIRA, L. A. et al. Tipos de miosinas de linhagens de frangos de corte criados em sistemas de confinamento e semiconfinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 9, p. 1961–1967, 2011.
- MAIORANO, G. Meat defects and emergent muscle myopathies in broiler chickens : implications for the modern poultry industry. **Scientific Annals of Polish Society of Animal Production**, v. 13, n. 3, p. 43–51, 2017.
- MANCINI, R. Meat Color. In: KERTH, C. R. (Ed.). **The Science of Meat Quality**. Iowa: Wiley-Blackwell, Ames, 2013. p. 177–198.
- MATARNEH, S. K. et al. The Conversion of Muscle to Meat. In: TOLDRA, F. (Ed.). . **Lawrie's Meat Science**. 8. ed. Cambridge: Woodhead Publishing, 2017. p. 159–185.
- MAZZONI, M. et al. Relationship between pectoralis major muscle histology and quality traits of chicken meat. **Poultry Science**, v. 94, p. 123–130, 2015.
- MEHAFFEY, J. M. et al. Meat quality evaluation of minimally aged broiler breast fillets from five commercial genetic strains. **Poultry Science**, v. 85, p. 902–908, 2006.
- MENDES, A. A.; KOMIYAMA, C. M. Estratégias de manejo de frangos de corte visando qualidade de carcaça e carne. **Revista Brasileira De Zootecnia**, v. 40, n. suplemento especial, p. 352–357, 2011.
- MIR, N. A. et al. Determinants of broiler chicken meat quality and factors affecting them: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 54, n. 10, p. 2997–3009, 2017.
- MOREY, A.; OWENS, C. M. Methods for Measuring Meat Texture. In: PETRACCI, M.; BERRI, C. (Eds.). . **Poultry Quality Evaluation: Quality Attributes and Consumer Values**. 1. ed. Cambridge: Woodhead Publishing, 2017. p. 115–132.
- MUCHENJE, V. et al. Some biochemical aspects pertaining to beef eating quality and consumer health: A review. **Food Chemistry**, v. 112, p. 279–289, 2009.
- MUDALAL, S. et al. Implications of white striping and wooden breast abnormalities on quality traits of raw and marinated chicken meat. **Animal**, v. 9, n. 4, p. 728–734, 2015.
- MUSFIROH, A. F. et al. The correlation of muscle fiber and perimysium thickness to the quality of turkey breast meat. **Journal of Applied Food Technology**, v. 2, n. 3, p. 121–125, 2013.
- MUTRYN, M. F. et al. Characterization of a novel chicken muscle disorder through differential gene expression and pathway analysis using RNA-sequencing. **BMC Genomics**, v. 16, n. 1, p. 1–19, 2015.
- NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014.
- NISHIMURA, T. Role of extracellular matrix in development of skeletal muscle and postmortem aging of meat. **Meat Science**, v. 109, p. 48–55, 2015.

- OLSON, D. G.; PARRISH JR, F. C.; STROMER, M. H. Myofibril Fragmentation and Shear Resistance of Three Bovine Muscles During Postmortem Storage. **Journal of Food Science**, v. 41, p. 1036–1041, 1976.
- PASCHOAL, E. C.; SANTOS, J. M. G. MIOPATIA PEITORAL PROFUNDA COMO CAUSA DE CONDENAÇÃO EM ABATEDOURO DE AVES. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 6, n. 2, p. 223–233, 2013.
- PETER, J. B. et al. Metabolic Profiles of Three Fiber Types of Skeletal Muscle in Guinea Pigs and Rabbits. **Biochemistry**, v. 11, n. 14, p. 2627–2633, 1972.
- PETRACCI, M. et al. Comparison of breast muscle traits and meat quality characteristics in 2 commercial chicken hybrids. **Poultry Science**, v. 92, p. 2438–2447, 2013a.
- PETRACCI, M. et al. Occurrence of white striping under commercial conditions and its impact on breast meat quality in broiler chickens. **Poultry Science**, v. 92, p. 1670–1675, 2013b.
- PETRACCI, M. et al. Effect of white striping on chemical composition and nutritional value of chicken breast meat. **Italian Journal of Animal Science**, v. 13, p. 179–183, 2014.
- PETRACCI, M. et al. Meat quality in fast-growing broiler chickens. **World's Poultry Science Journal**, v. 71, p. 363–374, 2015.
- PETRACCI, M.; CAVANI, C. Muscle Growth and Poultry Meat Quality Issues. **Nutrients**, v. 4, p. 1–12, 2012.
- PETRACCI, M.; SOGLIA, F.; BERRI, C. Muscle Metabolism and Meat Quality Abnormalities. In: PETRACCI, M.; BERRI, C. (Eds.). **Poultry Quality Evaluation: Quality Attributes and Consumer Values**. 1. ed. Cambridge: Woodhead Publishing, 2017. p. 51–75.
- PURSLOW, P. P. New Developments on the Role of Intramuscular Connective Tissue in Meat Toughness. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 5, p. 133–153, 2014.
- PURSLOW, P. P. The Structure and Growth of Muscle. In: TOLDRA, F. (Ed.). **Lawrie's Meat Science**. 8. ed. Cambridge: Woodhead Publishing, 2017. p. 49–97.
- QIAO, M. et al. The Effect of Broiler Breast Meat Color on pH, Moisture, Water-Holding Capacity, and Emulsification Capacity M. **Poultry Science**, v. 80, p. 676–680, 2001.
- RAMOS, E. M.; GOMIDE, L. A. DE M. **Avaliação da Qualidade de Carnes: Fundamentos e Metodologias**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2017.
- RUSSO, E. et al. Evaluation of White Striping prevalence and predisposing factors in broilers at slaughter. **Poultry Science**, v. 94, p. 1843–1848, 2015.
- SAMS, A. Commercial implementation of postmortem electrical stimulation. **Poultry Science**, v. 78, p. 290–294, 1999.
- SAMUELSON, D. A. **Tratado de histologia veterinária**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- SANCHEZ BRAMBILA, G. et al. Descriptive texture analyses of broiler breast fillets with the wooden breast condition stored at 4°C and -20°C. **Poultry Science**, v. 97, p.

1762–1767, 2018.

SANDERCOCK, D. A. et al. Changes in muscle cell cation regulation and meat quality traits are associated with genetic selection for high body weight and meat yield in broiler chickens. **Genetics Selection Evolution**, v. 41, n. 8, p. 1–8, 2009.

SANDERCOCK, D. A.; MITCHELL, M. A. The role of sodium ions in the pathogenesis of skeletal muscle damage in broiler chickens. **Poultry Science**, v. 83, p. 701–706, 2004.

SARTORI, J. R. et al. Tipos de Fibras no Músculo Flexor longo do Hálux de Frangos de Corte Submetidos ao Estresse pelo Calor e Frio e Alimentados em “Pair-Feeding”. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 4, p. 918–925, 2003.

SCHEUERMANN, G. N. et al. Breast muscle development in commercial broiler chickens. **Poultry Science**, v. 82, p. 1648–1658, 2003.

SCHILLING, M. W. et al. Proteomic approach to characterize biochemistry of meat quality defects. **Meat Science**, v. 132, p. 131–138, 2017.

SIHVO, H. K. et al. Wooden Breast Myodegeneration of Pectoralis Major Muscle Over the Growth Period in Broilers. **Veterinary Pathology**, v. 54, n. 1, p. 119–128, 2017.

SIHVO, H. K. et al. Pectoral Vessel Density and Early Ultrastructural Changes in Broiler Chicken Wooden Breast Myopathy. **Journal of Comparative Pathology**, v. 161, p. 1–10, 2018.

SIHVO, H. K.; IMMONEN, K.; PUOLANNE, E. Myodegeneration With Fibrosis and Regeneration in the Pectoralis Major Muscle of Broilers. **Veterinary Pathology**, v. 51, n. 3, p. 619–623, 2014.

SILVA, M. D. P.; CARVALHO, R. F. Mecanismos celulares e moleculares que controlam o desenvolvimento e o crescimento muscular. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. suplemento especial, p. 21–31, 2007.

SIRRI, F. et al. Effect of different levels of dietary zinc, manganese, and copper from organic or inorganic sources on performance, bacterial chondronecrosis, intramuscular collagen characteristics, and occurrence of meat quality defects of broiler chickens. **Poultry Science**, v. 95, p. 1813–1824, 2016.

SOGLIA, F. et al. Histology, composition, and quality traits of chicken Pectoralis major muscle affected by wooden breast abnormality. **Poultry Science**, v. 95, p. 651–659, 2016.

SOKOŁOWICZ, Z.; KRAWCZYK, J.; ŚWIĄTKIEWICZ, S. Quality of Poultry Meat from Native Chicken Breeds - A Review. **Annals of Animal Science**, v. 16, n. 2, p. 347–368, 2016.

SUN, X. et al. Instrumental compression force and meat attribute changes in woody broiler breast fillets during short-term storage. **Poultry Science**, v. 97, p. 2600–2606, 2018.

SWARTZ, D. R.; GREASER, M. L.; CANTINO, M. E. Muscle Structure and Function. In: DU, M.; MCCORMICK, R. J. (Eds.). **Applied Muscle Biology and Meat Science**. 1. ed. New York: CRC Press, 2009. p. 1–40.

TASONIERO, G. et al. Technological quality, mineral profile, and sensory attributes of broiler chicken breasts affected by White Striping and Wooden Breast myopathies. **Poultry Science**, v. 95, p. 2707–2714, 2016.

- TIJARE, V. V. et al. Meat Quality of Broiler Breast Fillets with White Striping and Woody Breast Muscle Myopathies. **Poultry Science**, v. 95, p. 1–7, 2016.
- TROCINO, A. et al. 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**, v. 94, p. 2996–3004, 2015.
- TUMOVA, E.; TEIMOURI, A. Chicken muscle fibres characteristics and meat quality: a review. **Scientia Agriculturae Bohemica**, v. 40, n. 4, p. 253–258, 2009.
- VAN LAACK, R. L. J. M. et al. Characteristics of Pale , Soft , Exudative Broiler Breast Meat. **Poultry Science**, v. 79, p. 1057–1061, 2000.
- VEISETH, E. et al. Technical Note: Comparison of myofibril fragmentation index from fresh and frozen pork and lamb longissimus. **Journal of Animal Science**, v. 79, p. 904–906, 2001.
- VELLEMAN, S. G. Relationship of Skeletal Muscle Development and Growth to Breast Muscle Myopathies: A Review. **Avian Diseases**, v. 59, p. 525–531, 2015.
- VELLEMAN, S. G.; CLARK, D. L. Histopathologic and Myogenic Gene Expression Changes Associated with Wooden Breast in Broiler Breast Muscles. **Avian Diseases**, v. 59, p. 410–418, 2015.
- VELLEMAN, S. G.; CLARK, D. L.; TONNIGES, J. R. Fibrillar Collagen Organization Associated with Broiler Wooden Breast Fibrotic Myopathy. **Avian Diseases**, v. 61, n. 4, p. 481–490, 2017.
- VERDIGLIONE, R.; CASSANDRO, M. Characterization of muscle fiber type in the pectoralis major muscle of slow-growing local and commercial chicken strains. **Poultry Science**, v. 92, p. 2433–2437, 2013.
- VIEIRA, B. S. et al. Desenvolvimento do Tecido Muscular. In: MACARI, M.; MAIORKA, A. (Eds.). **Fisiologia das aves comerciais**. 1. ed. Jaboticabal: Funep, 2017. p. 532–553.
- WARNER, R. Meat: Conversion of Muscle into Meat. In: CABALLERO, B.; FINGLAS, P. M.; TOLDRÁ, F. (Eds.). **Encyclopedia of Food and Health**. 1. ed. Parkville: Elsevier, 2016. p. 677–684.
- WESTERBLAD, H.; BRUTON, J. D.; KATZ, A. Skeletal muscle: Energy metabolism, fiber types, fatigue and adaptability. **Experimental Cell Research**, v. 316, p. 3093–3099, 2010.
- ZAMBONELLI, P. et al. Detection of differentially expressed genes in broiler pectoralis major muscle affected by White Striping - Wooden Breast myopathies. **Poultry Science**, v. 95, p. 2771–2785, 2016.
- ZANETTI, M. A. et al. Economic losses associated with Wooden Breast and White Striping in broilers. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 39, n. 2, p. 887–891, 2018.
- ZHUANG, H.; SAVAGE, E. M. Comparison of cook loss, shear force, and sensory descriptive profiles of boneless skinless white meat cooked from a frozen or thawed state. **Poultry Science**, v. 92, p. 3003–3009, 2013.

## **CAPÍTULO 2**

### **6 A MIOPATIA *WOODEN BREAST* IMPACTA NA QUALIDADE DE FILÉS DE PEITO DE FRANGOS E NA PREFERÊNCIA DOS CONSUMIDORES**

Artigo adaptado de acordo com as normas da Revista Animal, Fator de Impacto 2017:

1,87, ISSN: 1751-732X (Online), Qualis CAPES A1

Projeto aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais BRF/SIF 18 (número de protocolo: 076/18/14) e pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) envolvendo seres humanos (número de protocolo: 2.890.935)

## **A miopatia *wooden breast* em filés de peito de frango impacta na qualidade e preferência dos consumidores**

### **6.1 Resumo**

A prevalência de anormalidades verificadas na linha de abate é consequência do alto rendimento do peito em virtude da seleção genética aplicada nos últimos anos, como a miopatia *wooden breast* (WB), caracterizada pela dureza palpatória. Este estudo teve como objetivo avaliar os atributos qualitativos, sensoriais e a morfologia das fibras musculares em filés de peito de frangos de corte associado com o grau de severidade da miopatia *wooden breast*. 300 filés foram classificados em três graus de severidade: normal (100 amostras), moderado (100 amostras) e severo (100 amostras) em frigorífico comercial. Após identificação, classificação e descrição das alterações, foram avaliadas as medidas morfométricas, atributos qualitativos da carne, composição química, características sensoriais e morfologia das miofibras. Filés acometidos por miopatia moderada e severa apresentaram maiores pesos em relação aos filés normais. A altura do segmento cranial aumentou e o comprimento diminuiu conforme o grau de severidade. Os filés com grau severo apresentaram maiores teores de vermelho ( $a^*$ ), amarelo ( $b^*$ ) e pH final. As perdas por gotejamento e cozimento foram maiores nos filés com grau moderado e severo de miopatia quando comparados aos filés normais. Por outro lado, a menor força de cisalhamento e o maior índice de fragmentação miofibrilar foi observado em filés com grau severo quando comparado aos filés normais. Filés acometidos por miopatia severa apresentaram maior umidade em relação aos filés normais e moderados. Os teores de colágeno aumentaram e os teores de cinzas diminuíram conforme o grau de severidade. A proteína bruta foi menor e os teores de lipídeos maiores nos filés com grau moderado e severo quando comparados aos filés normais. O parâmetro sabor foi melhor

evidenciado pelos provadores nos filés com grau severo quando comparado aos filés normais e moderados. Além disso, filés acometidos por miopatia moderada e severa apresentaram melhor maciez e mastigabilidade quando comparados aos filés normais. A suculência e a preferência dos provadores aumentaram de acordo com o grau de severidade da miopatia. No geral, filés acometidos pela miopatia WB moderada e severa foram afetados não apenas na aparência, mas também em suas características qualitativas, físicas, químicas e sensoriais.

**Palavras-chave:** anormalidades, miofibras, peito de frango, qualidade da carne, textura

## 6.2 Implicações

O surgimento de miopatias como *white striping* e *wooden breast* na indústria avícola atrelado ao rápido desenvolvimento do músculo do peito de frangos de corte de alto rendimento, proporcionaram alterações na estrutura morfológica dos tecidos musculares, bem como problemas de atributos qualitativos da carne. O principal desafio é tentar reduzir a ocorrência destas anormalidades, mas sem comprometer o alto desempenho e rendimento de carne alcançados na atualidade. Desta forma, as perdas econômicas geradas a partir das condenações das carcaças ou de seus cortes e da provável rejeição pelos consumidores são os fatores que motivaram a indústria avícola a buscar informações adicionais sobre as consequências destas anormalidades nas características de qualidade da carne.

## 6.3 Introdução

O aumento no rendimento do músculo do peito (*Pectoralis major*) em frangos de corte observado nos últimos anos, através da seleção genética, modificou a estrutura

morfológica desse tecido muscular. A realidade é que o aumento do diâmetro da fibra muscular tem reduzido o espaço disponível no tecido conjuntivo, endomísio e perimísio, diminuindo o suprimento sanguíneo, alterando o metabolismo muscular (Clark e Velleman, 2017) e induzindo ao aparecimento de lesões musculares, como por exemplo a miopatia *Wooden breast - WB* (Sihvo *et al.*, 2014). Outra possibilidade é a baixa densidade capilar existente em linhagens de alto rendimento que pode não ser suficiente para suportar a demanda de oxigênio, predispondo a ave a micro-esquemia e a danos musculares (Joiner *et al.*, 2014).

Um aspecto importante e relatado em pesquisas é que mesmo não apresentando lesões ou alterações macroscópicas no musculo peitoral, filés de frangos normais selecionados para o alto rendimento de peito apresentaram miodegeneração leve associado com a presença de fibras anormais de tamanho grande e pequeno, degenerações musculares, necrose e infiltração de lipídeos e tecido conjuntivo (Petracci *et al.*, 2013; Kawasaki *et al.*, 2018), indicando que lesões musculares ou miopáticas são comuns em frangos de corte e a probabilidade de desenvolvimento de carnes com aspectos tecnológicos inferiores são maiores.

Identificada na linha de abate de forma manual, através da detecção palpatória (Tijare *et al.*, 2016) a miopatia WB apresenta aspectos endurecidos difusos ou em áreas focais, além de serem pálidas podem estar cobertas com uma fina camada de material viscoso claro, presença de estrias brancas finas visíveis entre as fibras musculares e com várias petéquias ou pequenas hemorragias distribuídas multifocalmente, dependendo do grau de severidade (Sihvo *et al.*, 2014; Sihvo *et al.*, 2017). Microscopicamente, apresentam fibras de tamanhos diferentes, necrose, degeneração muscular, infiltração de tecido conjuntivo e células de adipócitos (Trocino *et al.*, 2015; Soglia *et al.*, 2016; Kawasaki *et al.*, 2018).

Essas alterações no músculo podem prejudicar o processamento na indústria e a qualidade final dos produtos, através da menor qualidade nutricional e dos baixos atributos qualitativos da carne (Mudalal *et al.*, 2015). Além disso, a textura em filés WB é outro problema agravante que pode impactar a logística da indústria e a aceitabilidade dos consumidores. Filés de peito costumam ser armazenados por vários dias antes do processamento na indústria, desta forma, o armazenamento de filés WB com o tempo podem tornar-se macios e serem difíceis de identificar (Sun *et al.*, 2018).

Além de sua aparência desagradável e de seus atributos qualitativos de carne inferiores (Kuttappan *et al.*, 2017; Cai *et al.*, 2018; Zhuang e Bowker, 2018), a miopatia WB pode impactar o comportamento de compra dos consumidores em relação a carne de aves, embora seja incerto saber se o consumidor é capaz de interpretar as características sensoriais dos filés conforme o grau de severidade da miopatia. Desta forma, entender como essas características afetam a morfologia da fibra muscular tem consequências essenciais na qualidade final da carne. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar os atributos físicos, químicos, qualitativos, sensoriais e a morfologia das fibras musculares em filés de peito de frangos de corte associado com o grau de severidade da miopatia *wooden breast*.

## **6.4 Material e Métodos**

### *6.4.1 Avaliação visual, classificação da miopatia e coleta de amostras*

Esta pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética no Uso de Animais BRF/SIF 18 sob o número 076/18/14. Os músculos *Pectoralis major* sem pele e desossados foram selecionados na área de desossa oriundos de um frigorífico comercial de aves cadastrado no Serviço de Inspeção Federal (SIF), localizado na região da Grande Dourados, MS, Brasil (latitude de 22°13'18.54" Sul, longitude de 54°48'23.09" Oeste e altitude média de

430 m). A capacidade média de abate foi de 150.000 frangos/dia com a produção voltada para o mercado externo. As aves criadas em instalação *Dark house* pertenciam a linhagem Cobb 500<sup>®</sup>, machos, com 40 dias de idade e peso médio de 3,066 kg. Antes do abate, o tempo médio de jejum do lote foi de 7 horas e 25 minutos e o tempo médio de espera no galpão foi de 1 hora e 15 minutos. Após pesagem, as aves foram insensibilizadas (Tensão 60, frequência 1000 e corrente alternada), escaldadas (2 minutos a 60 °C), depenadas e evisceradas de forma mecanizada. Todas as carcaças foram submetidas ao pré-chiller (12 °C) e chiller (2 °C), totalizando 1 hora e 10 minutos antes da desossa.

Posteriormente, amostras de filés de peito de frangos de corte foram coletadas na área de desossa, após palpação manual realizada por três pessoas treinadas, para melhor acurácia da classificação, conforme metodologia adotada por Tijare *et al.* (2016) e classificação através de avaliação visual e tátil, sendo selecionados 100 filés de cada categoria (normal, moderada e severa), totalizando 300 amostras. Esta classificação foi baseada no grau de severidade da miopatia *Wooden breast* (WB) proposta por Sihvo *et al.* (2017) em:

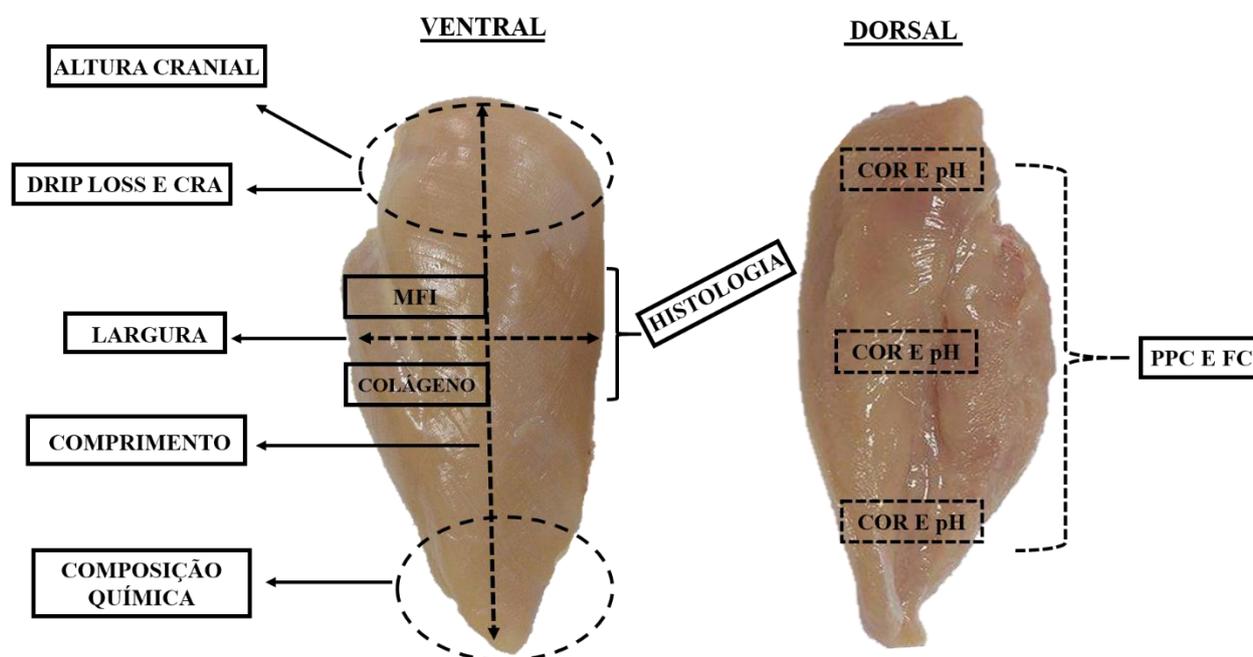
- Normal (grau 0): cor e consistência normal;
- Moderada (grau 1): consistência endurecida e cor pálida na área cranial com poucas listras brancas;
- Severa (grau 2): endurecido e pálido no músculo inteiro e com várias listras brancas.

#### 6.4.2 Preparo das amostras, peso e medidas morfológicas dos filés

Após a coleta e classificação das alterações, as amostras já seccionadas em duas partes (lado direito e esquerdo) sem gordura superficial, cartilagem e tecidos conjuntivos, foram transportadas sob refrigeração para o Laboratório de Análise de Produtos

Agropecuários – FCA/UFMG. Logo após o recebimento no laboratório, 150 filés (50 filés por escore de WB) foram embalados em sacos de polietileno, identificados, selados e imediatamente armazenados a 4° C até 24 horas *post mortem* para análises de pH, cor, capacidade de retenção de água (CRA), *drip loss* (DL), medidas físicas, peso (g) e avaliações histológicas. Outra parte das amostras (150 filés) foram embaladas em sacos de polietileno, seladas à vácuo, através de embaladora à vácuo com câmara e solda dupla de 430 mm (PANVAC, Espírito Santo, Brasil) e congeladas a -20 °C em freezer para análises de perdas por descongelamento (PPD), cozimento (PPC), força de cisalhamento (FC), colágeno total, composição química, índice de fragmentação miofibrilar (IFM) e análise sensorial.

Com 24 horas *post mortem* os filés foram pesados (g) e as medidas morfométricas (Figura 1) determinadas através de um paquímetro com escala em milímetros (mm) e régua (cm). O comprimento (cm) foi medido na maior dimensão do filé e a largura (cm) medida a partir da maior distância de um lado ao outro no meio do filé. A altura (mm) foi medida no ponto mais alto da parte cranial do filé, conforme metodologia adaptada de Mudalal *et al.* (2015).



**Figura 1** Esquema representativo das medidas morfométricas e análises qualitativas dos filés de frangos de corte nas porções ventral e dorsal.

Fonte: Arquivo pessoal.

#### 6.4.3 Atributos qualitativos da carne

As medidas de pH nos filés de peito foram efetuadas 24 horas *post mortem* em três diferentes pontos, localizados na parte superior, intermediário e inferior no lado do osso (porção dorsal), considerando-se o valor médio destas mensurações (Van Laack *et al.*, 2000), por meio de peagamêtro digital Testo 205. O aparelho foi calibrado com duas soluções tampões (pH 4,0 e pH  $7,0 \pm 0,05/25^{\circ}\text{C}$ ). De forma semelhante, a cor dos filés foi determinada através do colorímetro Konica Meter CR-400 (Minolta cor., Japão), calibrado no sistema CIELAB, em triplicata e foram analisados os parâmetros  $L^*$  (luminosidade),  $a^*$  (teor de vermelho) e  $b^*$  (teor de amarelo) na porção dorsal do filé. Antes das medidas de cor, os filés foram expostos a temperatura ambiente por 30 minutos para oxigenação do músculo, conforme Van Laack *et al.* (2000).

Para a capacidade de retenção de água (CRA), foi medida a perda de água liberada ao ser aplicada uma pressão sobre o tecido muscular, na qual cubos de carne de

2 g (peso inicial) foram colocados entre dois papéis de filtro circulares e estes, entre duas placas de vidro, sobre o qual foi colocado um peso de 10 kg durante 5 minutos, conforme metodologia descrita por Hamm (1960). Após a prensagem dos cubos de carne, as amostras foram pesadas (peso final) para obtenção da quantidade de água perdida durante o processo. O resultado foi expresso em porcentagem de água exsudada em relação ao peso inicial das amostras.

Utilizaram-se potes e redes plásticas para determinação do *Drip loss* (DL), em que amostras de filés de 80 g foram suspensas de forma que não tocassem nas paredes e nem o fundo do pote. Posteriormente, foram armazenadas em incubadora por 48 horas a 4° C para gotejamento do exsudato e, após este período, foram retiradas, enxugadas suavemente com toalhas de papel e pesadas novamente para obtenção do peso final, segundo metodologia adaptada de Mudalal *et al.* (2015). A diferença entre o peso inicial e final, após o tempo de armazenamento refrigerado, foi expressa em porcentagem pela seguinte fórmula:  $[DL = 100 \times (Pi - Pf)/Pi]$ , em que DL = drip loss (%), Pi = peso inicial (g) e Pf = peso final (g). CRA e DL foram determinadas na porção cranial do filé. Todas as análises citadas anteriormente foram realizadas 24 horas *post-mortem*.

Análises de perdas por descongelamento (PPD), cozimento (PPC) e força de cisalhamento (FC) foram realizadas após congelamento (-20 °C) das amostras, as quais foram armazenadas por 30 dias. Estas amostras foram congeladas em virtude da logística do presente estudo e todas foram avaliadas uniformemente para que efeitos dos tratamentos pudessem ser notados. Desta forma, as amostras de filés congeladas foram pesadas e armazenadas por 24 horas à 4° C para descongelarem e, em seguida, foram enxugadas levemente com papel toalha e pesadas novamente. A diferença entre o peso inicial (congelado) e final (após descongelamento), correspondeu a perda por descongelamento (%) de acordo com a metodologia adaptada por Honikel (1987). Logo

após, os filés foram identificados e embalados em sacos de polietileno e selados à vácuo. Em seguida, foram cozidos em banho-maria CT – 269 (Cientec, São Paulo, Brasil) à 85°C por 30 minutos até atingirem a temperatura final interna de 75 a 80°C. Após o cozimento, os filés foram resfriados em temperatura ambiente e pesados novamente. A diferença entre o peso inicial (*in natura*) e final (cozido), correspondeu à perda de peso por cozimento, conforme método adaptado por Honikel (1987) e foi expresso pela seguinte fórmula:  $[PPC = 100 \times (P_i - P_f)/P_i]$ , em que PPC = perda de peso por cozimento (%),  $P_i$  = peso antes do cozimento (g) e  $P_f$  = peso após o cozimento (g).

As amostras usadas para determinação da PPC foram utilizadas para análise da força de cisalhamento, as quais foram cortadas em paralelepípedos com dimensões de 1x1x2 cm e colocadas de forma que as fibras estavam orientadas no sentido perpendicular às lâminas *Warner-Bratzler* de 1mm de espessura do aparelho texturômetro TAXT 2i (*stable micro Systems*), que mediu a força necessária para cortá-las, com valor expresso em quilograma-força (Kgf/cm<sup>2</sup>). O equipamento foi calibrado com peso padrão de 5 kg e padrão rastreável, utilizando metodologia descrita por Sams *et al.* (1990). Os valores da FC de cada amostra representaram uma média de cinco medições provenientes da porção medial do filé. O índice de fragmentação miofibrilar (IFM), determinado na porção ventral do músculo, foi estimado de acordo com a técnica adaptada de Culler *et al.* (1978).

#### 6.4.4 Composição química e colágeno total

A composição química (umidade, proteína, gordura e cinzas) das amostras de filés nos graus 0, 1 e 2 de WB foram determinadas na porção caudal do músculo *Pectoralis major*. As amostras foram cortadas em cubos de aproximadamente 2 cm, pesadas e acondicionadas em placas de petri de alumínio e levadas a estufa de circulação forçada de ar, na temperatura de 65°C por 72 horas. Após pré-secagem, as amostras foram

moídas para determinação dos teores de umidade, proteína bruta, extrato etéreo e matéria mineral conforme método padrão da *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 1990) (Washington, DC, EUA) em duplicata.

O teor de umidade foi avaliado pela diferença de peso antes e após a secagem de 2 g de amostra em cadinho de porcelana em estufa (105 °C) por 16 horas. O teor de nitrogênio total foi realizado pelo método de *Kjeldahl* para determinar o teor de proteína bruta total, utilizando-se o fator 6,25 para multiplicar o nitrogênio total e obter o valor de proteína bruta total. O teor de lipídeos foi obtido em extrator tipo *Soxhlet* com éter de petróleo por 4 horas. O teor de cinzas foi determinado pela diferença de peso antes e após a incineração de 2 g de amostra em cadinho de porcelana em mufla (600 °C) por 4 horas. O teor de colágeno total, avaliado na porção caudal do músculo, foi calculado a partir do teor de hidroxiprolina através do método proposto por Woessner (1961). O cálculo da razão colágeno total/ proteína total e gordura total/proteína total, foi expresso pela seguinte fórmula:  $100x$  (colágeno/proteína total) e  $100x$  (gordura total/proteína total), respectivamente (Petracci *et al.*, 2014).

#### 6.4.5 Análise sensorial

A análise sensorial foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) envolvendo seres humanos sob protocolo número 2.890.935. Foram selecionados 30 filés de peito de frangos de corte conforme o grau da miopatia *wooden breast* (10 filés normais, 10 filés moderados e 10 filés severos), que foram analisados por avaliação microbiológica (contagem total de Mesófilos, *Escherichia coli* e *Salmonella spp*), segundo AOAC (1990). Após o laudo negativo para as provas microbiológicas procedeu-se o preparo dos filés para análise sensorial. De acordo com a metodologia adaptada por Droval *et al.* (2012), os filés foram embalados com papel alumínio e aquecidos em grill em torno 300 °C por

16 minutos, sendo 8 minutos de cada lado, até que atingissem a temperatura interna de 85 °C no seu centro geométrico, monitorado com termômetro digital.

Em seguida, os filés foram cortados em porções uniformes (paralelepípedos de 2x2x4 cm) e acondicionados em potes herméticos e previamente codificados. Após instruções aos provadores, as amostras foram servidas fornecendo 2 pedaços de carne de acordo com o grau da miopatia (6 pedaços/pessoa) em placas de petri de vidro devidamente codificadas, juntamente com um copo de água e fatias de pão para evitar interferência entre as amostras durante as avaliações. Os testes foram realizados por um painel composto por 100 provadores não treinados com idade entre 18 e 56 anos de ambos os sexos (37 homens e 63 mulheres). Utilizou-se o teste de aceitação por escala hedônica não estruturada de 9 pontos e o teste de preferência por ordenação com amostras codificadas com algarismos de três dígitos, simultaneamente com os questionários realizados com os termos descritores. Solicitou-se aos provadores para que comparassem cada amostra em relação aos atributos sensoriais (Intensidade de aroma, aroma estranho, sabor, sabor estranho, maciez, suculência e mastigabilidade) conforme a escala de classificação.

#### 6.4.6 Avaliação histológica

A avaliação histológica foi realizada com um total de 30 amostras do músculo *Pectoralis major* de acordo com o grau da miopatia *wooden breast* (10 filés normais, 10 filés moderados e 10 filés severos). 24 horas *post mortem*, filés de cada grau, direcionado ao longo das fibras musculares, foram cortados na camada superficial (lado ventral) com aproximadamente 0,5 cm de largura, 1,5 cm de profundidade e 3 cm de comprimento, conforme adaptado por Soglia *et al.* (2017). Posteriormente, as amostras foram imediatamente fixadas em solução de formalina tamponada a 10% por 24 horas em

temperatura ambiente e transferidas para álcool 70% para conservação até a emblocagem. Este processo consistiu em desidratação em série graduada de álcool (70% até 100%), diafanização em xilol e impregnação em parafina. De cada amostra, 10 cortes (tecidos) transversais seriados de 5 µm de espessura, em duplicata, foram obtidas através de micrótomo rotativo (Amercian Optical 820, New York, USA) montadas em lâminas não lapidadas (Perfecta Exacta, São Paulo, Brasil) e coradas com Hematoxilina e Eosina (H&E), conforme método sugerido por Michalany (1990).

Após coloração, as lâminas foram confeccionadas com bálsamo de piermount e lamínula para montagem de lâminas permanentes. Fotomicrografias digitais foram tiradas com um microscópio biológico (BEL Photonics Bio 2, Itália) e câmera digital Moticam (Moticam 2300, Hong Kong, China) equipado com o software Motic Images Plus 2.0 (Motic, Hong Kong, China). A coloração H&E foi utilizada com o objetivo de avaliar a morfologia muscular dos tecidos. Foram confeccionadas 20 lâminas (10 tecidos/lâmina) de cada grau de miopatia (10 filés normais, 10 filés moderados e 10 filés severos), totalizando 60 lâminas. De cada tecido foram capturadas 5 fotomicrografias com ampliação de 10 X e a leitura feita pela técnica de varredura por apenas uma pessoa (Joiner *et al.*, 2014), totalizando 3.000 fotomicrografias.

As lesões miopáticas (degeneração muscular e necrose) e fibrose foram descritas conforme adaptado por Trocino *et al.* (2015) e Brot *et al.* (2016).

#### 6.4.7 Análise estatística

Os dados morfométricos, composição química, colágeno total, IFM, atributos qualitativos e o teste de aceitação por escala hedônica dos filés (Grau 0, 1 e 2) foram analisados utilizando a opção ANOVA e as médias foram ajustadas e comparadas pelo teste de Tukey, através do comando PROC MIXED pelo software SAS 9.4 (SAS Institute Inc., NC, EUA, 2014), considerando significativo quando  $P < 0,05$ . Enquanto que os dados

do teste de preferência por ordenação dos provadores foram através de testes não-paramétricos aplicando-se a análise de variância pelo teste de Friedman ( $P < 0,05$ ) pelo comando PROC FREQ do SAS.

## 6.5 Resultados

### 6.5.1 Peso e medidas morfométricas dos filés

Os resultados para peso e medidas morfométricas dos filés de peito estão apresentados na Tabela 1. Os filés acometidos por WB moderado e severo (grau 1 e 2) apresentaram pesos maiores ( $P < 0,001$ ) em comparação aos filés normais (grau 0). A altura do segmento cranial ( $P < 0,01$ ) dos filés aumentou conforme os graus de severidade da miopatia, enquanto o comprimento ( $P < 0,001$ ) dos filés diminuiu de acordo com os graus de severidade da miopatia. A largura ( $P < 0,001$ ) do filé normal foi maior em comparação com os filés nos graus 1 e 2, que não diferiram entre si.

**Tabela 1** Medidas morfométricas de filés de peito de frango com diferentes graus de miopatia

Parâmetros	Graus de miopatia WB <sup>1</sup>			EPM	P-valor
	Normal (0)	Moderado (1)	Severo (2)		
Peso (g)	256,93 <sup>b</sup>	280,74 <sup>a</sup>	287,33 <sup>a</sup>	1,9252	<0,0001
Altura cranial (mm) <sup>2</sup>	29,25 <sup>c</sup>	31,83 <sup>b</sup>	33,22 <sup>a</sup>	0,482	0,0021
Comprimento (cm) <sup>3</sup>	17,39 <sup>a</sup>	17,04 <sup>b</sup>	16,57 <sup>c</sup>	0,0631	<0,0001
Largura (cm) <sup>4</sup>	8,79 <sup>a</sup>	8,37 <sup>b</sup>	8,36 <sup>b</sup>	0,0458	<0,0001

EPM = Erro padrão da média.

<sup>a,b,c</sup> Os valores médios dentro do mesmo parâmetro seguido por diferentes letras sobescritas diferem significativamente ( $P < 0,05$ ).

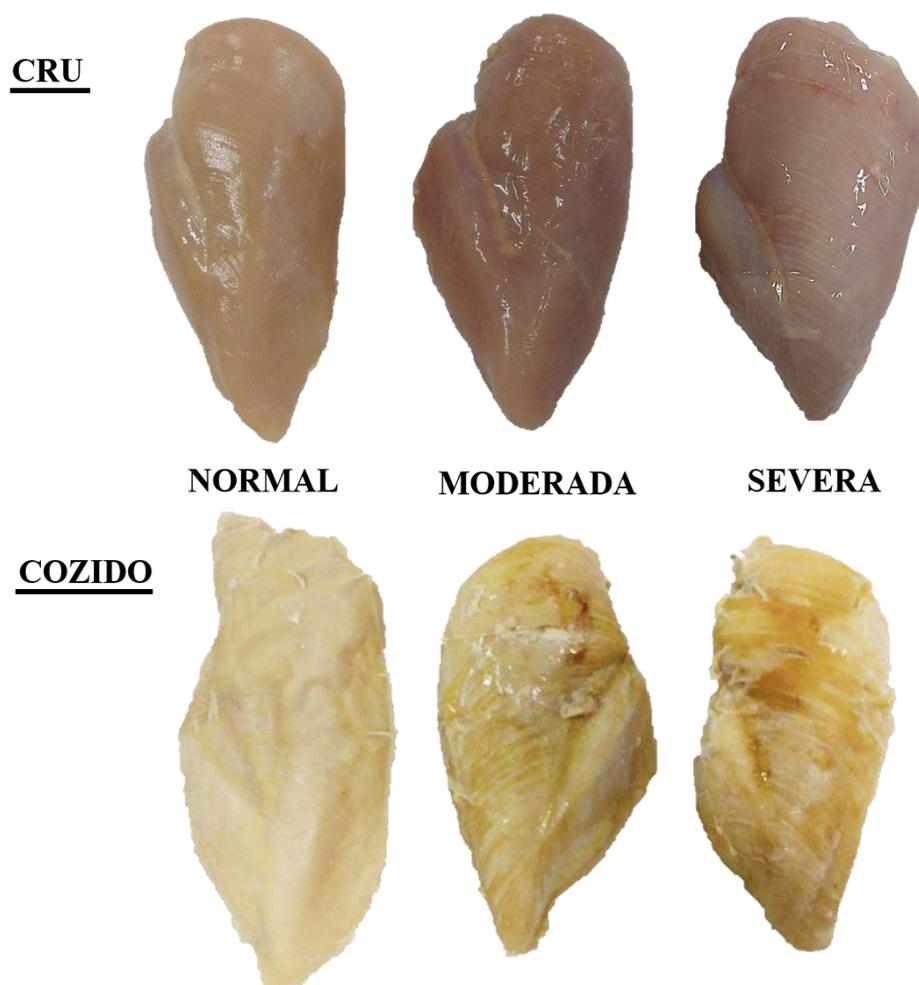
<sup>1</sup>  $n = 100$ /grau de severidade.

<sup>2</sup> Foi medido no ponto mais espesso da parte cranial.

<sup>3</sup> Foi medido na maior dimensão do filé.

<sup>4</sup> Foi medida a partir da maior distância de um lado ao outro no meio do filé.

A classificação através de avaliação visual e tátil dos músculos *Pectoralis major* crus e cozidos estão apresentados na Figura 2. Filés com graus moderado e severo apresentaram maior dureza, presença de petéquias hemorrágicas e listras brancas finas observadas visualmente na porção cranial. Após cozimento, filés acometidos por miopatia moderada e severa apresentaram diferenças visuais de coloração na porção ventral dos músculos.



**Figura 2** Classificação visual dos músculos *Pectoralis major* crus e cozidos de frangos de corte em três graus de severidade: Normal, Moderada e Severa.  
Fonte: Arquivo pessoal.

### 6.5.2 Atributos qualitativos da carne

Os resultados dos atributos qualitativos da carne estão apresentados na Tabela 2. Os filés acometidos por miopatia moderada e severa apresentaram maiores valores finais de pH ( $P < 0,001$ ) em relação aos filés normais. Em relação a cor, não houve diferença ( $P > 0,05$ ) para o parâmetro Luminosidade ( $L^*$ ) entre os graus da miopatia. Os maiores valores para o teor de vermelho ( $a^*$ ) foram observados nos filés com grau severo ( $P < 0,05$ ) e menores nos filés com grau moderado, enquanto que os filés normais apresentaram valores intermediários. O teor de amarelo ( $b^*$ ) foi maior nos filés com graus moderado e severo quando comparados aos filés normais ( $P < 0,05$ ). A capacidade de retenção de água (CRA) não foi afetada pelos graus da miopatia ( $P > 0,05$ ). As perdas por gotejamento (DL) foram maiores ( $P < 0,05$ ) nos filés acometidos por miopatia moderada e severa quando comparados aos filés normais.

As perdas por descongelamento (PPD) foram menores nos filés com graus moderado e severo em relação aos filés normais ( $P < 0,05$ ). A perda de peso por cozimento (PPC) aumentou de acordo com o grau de severidade da miopatia ( $P < 0,001$ ). A menor força de cisalhamento (FC) foi observada em filés com grau severo ( $P < 0,05$ ) e o maior valor notado em filés normais, enquanto que os filés com grau moderado apresentaram valores intermediários. O maior IFM foi observado em filés acometidos por miopatia severa ( $P < 0,05$ ) e o menor valor verificado em filés normais, enquanto que os filés com grau moderado exibiram valores intermediários (Tabela 2).

**Tabela 2** Efeito dos graus de severidade da miopatia WB nas propriedades qualitativas da carne de filés de peito de frangos

Parâmetros	Graus de miopatia WB <sup>1</sup>			EPM	P-valor
	Normal (0)	Moderado (1)	Severo (2)		
pH	5,87 <sup>b</sup>	6,02 <sup>a</sup>	6,03 <sup>a</sup>	0,0119	<0,0001
Luminosidade (L*)	47,49	48,08	47,89	0,1689	0,3443
Vermelho (a*)	1,13 <sup>ab</sup>	1,03 <sup>b</sup>	1,37 <sup>a</sup>	0,0468	0,0086
Amarelo (b*)	6,38 <sup>b</sup>	7,23 <sup>a</sup>	7,52 <sup>a</sup>	0,0458	0,0003
CRA (%)	36,06	35,10	35,60	0,2977	0,4176
PPD (%)	10,70 <sup>a</sup>	9,51 <sup>b</sup>	9,13 <sup>b</sup>	0,1797	0,0008
Drip loss (%)	4,12 <sup>b</sup>	4,98 <sup>a</sup>	4,72 <sup>a</sup>	0,1012	0,0014
PPC (%)	28,14 <sup>c</sup>	31,56 <sup>b</sup>	33,56 <sup>a</sup>	0,3322	<0,0001
FC (kgf)	2,50 <sup>a</sup>	2,15 <sup>ab</sup>	1,85 <sup>b</sup>	0,0703	0,0006
IFM (%)	78,10 <sup>b</sup>	80,11 <sup>ab</sup>	83,94 <sup>a</sup>	0,7210	0,0030

EPM = Erro padrão da média; CRA = Capacidade de retenção de água; PPD = perdas por descongelamento; PPC = perdas por cozimento; FC = força de cisalhamento; IFM = índice de fragmentação miofibrilar.

<sup>a,b,c</sup> Os valores médios dentro do mesmo parâmetro seguido por diferentes letras sobscritas diferem significativamente (P<0,05).

<sup>1</sup> n = 50/grau de severidade.

### 6.5.3 Composição química

A composição química dos filés de peito em diferentes graus de miopatia estão demonstrados na Tabela 3. Filés com graus severos apresentaram maiores teores de umidade (P<0,001) quando comparados aos filés normais e moderados, que não diferiram entre si. Os teores de cinzas diminuíram (P<0,001) conforme o grau de severidade da miopatia. A proteína bruta (PB) foi menor nos filés acometidos por miopatia moderada e severa (P<0,001) quando comparados aos filés normais. Os teores de colágeno aumentaram de acordo com o grau de severidade da miopatia (P<0,001). A razão colágeno/Proteína bruta aumentou (P<0,001) conforme o grau de severidade da miopatia. Os teores de lipídeos foram maiores nos filés com graus moderado e severo (P<0,001)

quando comparados aos filés normais. Da mesma forma, a relação lipídeos/Proteína bruta foram maiores nos filés com graus moderado e severo ( $P < 0,001$ ) quando comparados aos filés normais.

**Tabela 3** Efeito dos graus de severidade da miopatia WB na composição química da carne de filés de peito de frangos

Parâmetros	Graus de miopatia WB <sup>1</sup>			EPM	P-valor
	Normal (0)	Moderado (1)	Severo (2)		
Umidade (%)	74,56 <sup>b</sup>	74,73 <sup>b</sup>	75,91 <sup>a</sup>	0,1180	<0,0001
Proteína (%)	20,05 <sup>a</sup>	18,30 <sup>b</sup>	17,32 <sup>b</sup>	0,2450	<0,0001
Lipídeos (%)	1,28 <sup>b</sup>	2,22 <sup>a</sup>	1,89 <sup>a</sup>	0,0904	<0,0001
Cinzas (%)	1,64 <sup>a</sup>	1,41 <sup>b</sup>	1,19 <sup>c</sup>	0,0296	<0,0001
Colágeno (%)	0,74 <sup>c</sup>	0,84 <sup>b</sup>	0,95 <sup>a</sup>	0,0169	<0,0001
Colágeno/proteína	4,12 <sup>c</sup>	5,10 <sup>b</sup>	6,09 <sup>a</sup>	0,1792	<0,0001
Lipídeos/proteína	0,07 <sup>b</sup>	0,14 <sup>a</sup>	0,12 <sup>a</sup>	0,0065	<0,001

EPM = Erro padrão da média.

<sup>a,b,c</sup> Os valores médios dentro do mesmo parâmetro seguido por diferentes letras sobscritas diferem significativamente ( $P < 0,05$ ).

<sup>1</sup>  $n = 50$ /grau de severidade.

#### 6.5.4 Atributos sensoriais dos filés de peito

Os atributos sensoriais dos filés de peito em diferentes graus de miopatia estão demonstrados na Tabela 4. Não houve diferença ( $P > 0,05$ ) para os parâmetros intensidade de aroma, aroma e sabor estranho entres os graus de severidade da miopatia. O parâmetro sabor ( $P < 0,05$ ) foi melhor evidenciado pelos provadores nos filés com grau severo quando comparado aos filés normais e moderados, que não diferiram entre si. A variável maciez ( $P < 0,001$ ) foi maior em filés normais em relação aos filés acometidos por miopatia moderada e severa, que não diferiram entre si. A suculência aumentou ( $P < 0,05$ ) de acordo com o grau de severidade da miopatia. Filés com graus moderado e severo apresentaram maiores valores de mastigabilidade ( $P < 0,05$ ) quando comparados aos filés

normais. A preferência dos provadores (Figura 3) foi maior conforme o grau de severidade da miopatia ( $P < 0,05$ ).

**Tabela 4** Efeito dos graus de severidade da miopatia WB nos atributos sensoriais da carne de filés de peito de frangos

Parâmetros	Graus de miopatia WB <sup>1</sup>			EPM	P-valor
	Normal (0)	Moderado (1)	Severo (2)		
Intensidade de aroma <sup>2</sup>	4,140	4,234	4,638	0,1447	0,3289
Aroma estranho <sup>3</sup>	3,505	3,242	3,414	0,1268	0,6932
Sabor <sup>4</sup>	5,106 <sup>b</sup>	5,644 <sup>b</sup>	6,058 <sup>a</sup>	0,1462	0,0282
Sabor estranho <sup>5</sup>	2,667	2,616	2,889	0,1249	0,6392
Maciez <sup>6</sup>	4,434 <sup>a</sup>	3,556 <sup>b</sup>	3,272 <sup>b</sup>	0,1078	<0,0001
Suculência <sup>7</sup>	4,535 <sup>c</sup>	4,929 <sup>b</sup>	5,232 <sup>a</sup>	0,1062	0,0265
Mastigabilidade <sup>8</sup>	4,479 <sup>b</sup>	5,493 <sup>b</sup>	5,778 <sup>a</sup>	0,1341	0,0001

EPM = Erro padrão da média.

<sup>a,b,c</sup> Os valores médios dentro do mesmo parâmetro seguido por diferentes letras sobscritas diferem significativamente ( $P < 0,05$ ).

<sup>1</sup>  $n = 10$  filés/grau de severidade; 100 avaliadores.

<sup>2</sup> Escala variando do sem aroma ao muito intenso e característico.

<sup>3</sup> 1 = nenhum; 2 = extremamente fraco; 3 = muito fraco; 4 = fraco; 5 = moderadamente fraco; 6 = moderadamente forte; 7 = forte; 8 = muito forte; 9 = extremamente forte.

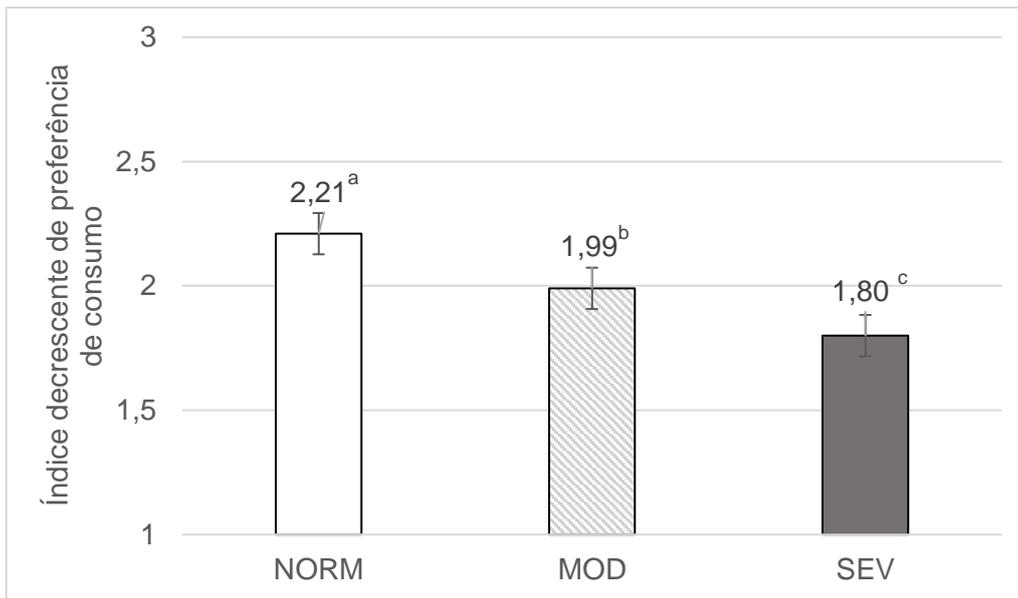
<sup>4</sup> Escala variando do não característico ao muito característico.

<sup>5</sup> 1 = nenhum; 2 = extremamente fraco; 3 = muito fraco; 4 = fraco; 5 = moderadamente fraco; 6 = moderadamente forte; 7 = forte; 8 = muito forte; 9 = extremamente forte.

<sup>6</sup> 1 = extremamente macio; 2 = muito macia; 3 = moderadamente macia; 4 = macia; 5 = nem macia nem dura; 6 = levemente dura; 7 = moderadamente dura; 8 = muito dura; 9 = extremamente dura.

<sup>7</sup> 1 = extremamente seco; 2 = muito seco; 3 = moderadamente seco; 4 = levemente seco; 5 = nem seco nem suculento; 6 = levemente suculento; 7 = moderadamente suculento; 8 = muito suculento; 9 = extremamente suculento.

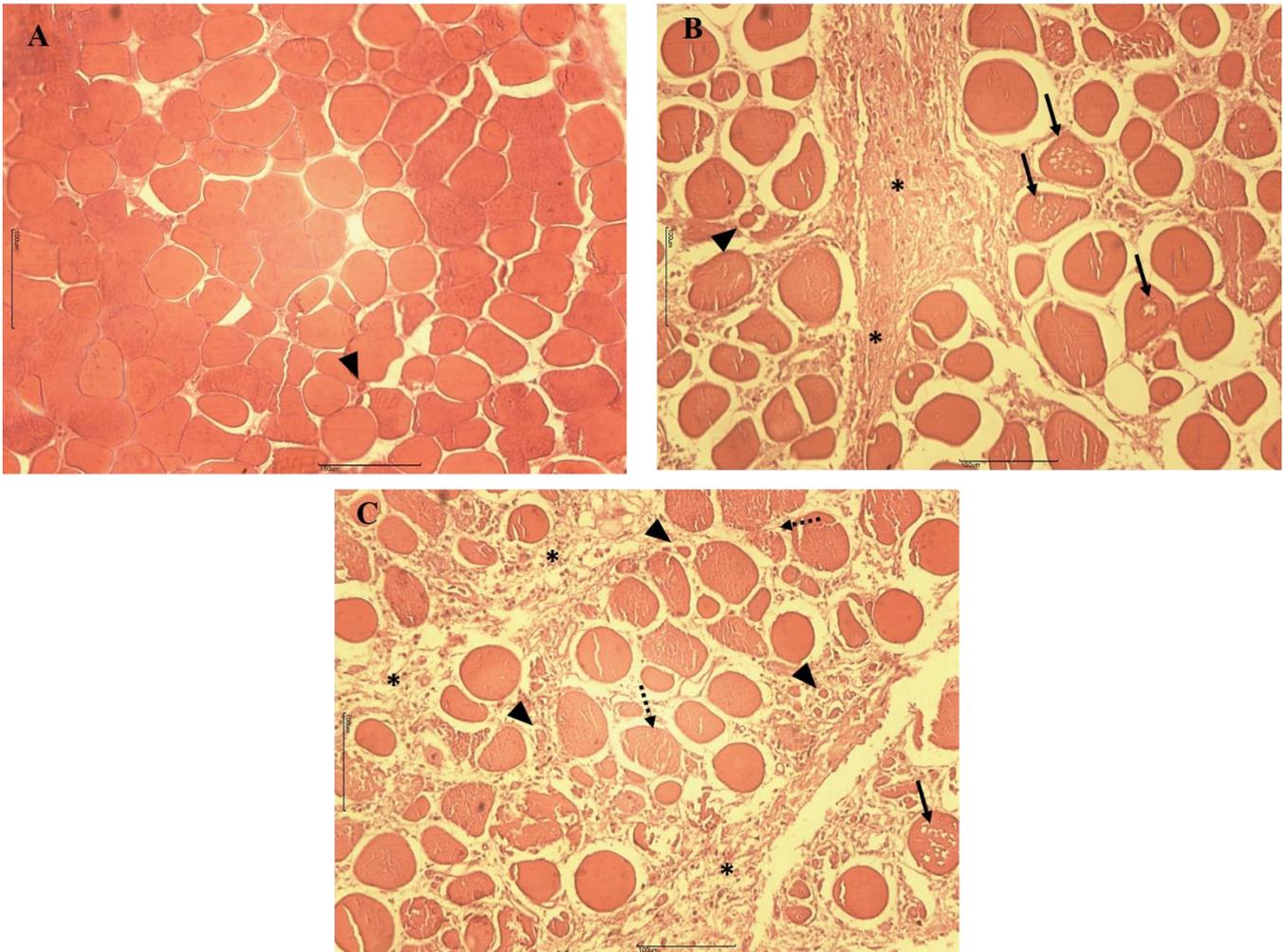
<sup>8</sup> Escala variando de elástica, borrachenta, difícil de deglutir ao desintegra facilmente na boca, fácil de deglutir.



**Figura 3** Preferência de consumo dos avaliadores de acordo com o grau de severidade da miopatia WB (normal = NORM, moderado = MOD e severo = SEV). Índices: 1 (maior preferência), 2 (segunda mais preferida) e 3 (menos preferida). Barras de erro indicam erro padrão das médias. n = 30 (10 amostras/grau de severidade; 97 avaliadores).<sup>a,b</sup>Valores médios seguidos por diferentes letras sobrescritas diferem significativamente entre os graus de severidade (P<0,05).

#### 6.5.5 Histologia

As fotomicrografias das lesões miopáticas (degeneração muscular e necrose) e fibrose dos filés de peito em diferentes graus de miopatia estão apresentadas na Figura 4. Filés acometidos por miopatia moderada e severa apresentaram fibras musculares de tamanho variável, falta de forma poligonal característico das fibras, infiltração de tecido conjuntivo endomisial separando as fibras, degenerações musculares e necrose. Além disso, nos filés normais foram observadas fibras anormais de tamanho pequeno.



**Figura 4** Fotomicrografias representativas dos filés de frangos de corte baseado no grau de severidade da miopatia *wooden breast*: normal (A), moderada (B) e severa (C). Asterisco = acúmulo de tecido conjuntivo endomisial. Setas = indicam fibras com necrose. Cabeças de seta = fibras de tamanho pequeno. Setas pontilhadas = fibras com degeneração muscular. Coloração Hematoxilina e Eosina (H&E). Barra de escala = 100  $\mu\text{m}$ .

Fonte: Arquivo pessoal.

## 6.6 Discussão

### 6.6.1 Peso e medidas morfológicas dos filés

O aumento da taxa de crescimento das aves e peso do filé de peito foram associados diretamente com o surgimento de miopatias que lesionam os músculos

peitorais dos frangos de corte (Kuttappan *et al.*, 2017; Brambila *et al.*, 2018). No presente estudo, as alterações no crescimento muscular foram avaliadas medindo-se o peso e as medidas morfométricas dos filés. Os resultados deste estudo indicaram que filés com graus moderado e severo de WB apresentaram pesos e altura cranial maiores que os filés normais. De forma semelhante, Mudalal *et al.* (2015) verificaram que WB estava associado com filés mais pesados e de maior altura cranial do filé, sugerindo que frangos com desenvolvimento de peito superior são mais propensos a desenvolverem anormalidades musculares. A dureza e o aumento notável na altura cranial dos filés com graus moderado e severo foram consistentes com a classificação proposta por Sihvo *et al.* (2017).

Por outro lado, o alto rendimento de peito resultou em alterações no comprimento e largura, como observado nos menores valores dessas medidas físicas nos filés com graus moderado e severo no presente estudo, que provavelmente estava relacionado com a consistência endurecida (compactos) na área cranial e no músculo inteiro no momento da identificação e classificação da miopatia WB. Desta forma, a avaliação da altura cranial juntamente com os valores de comprimento e largura poderiam ser indicados como critérios para diferenciar filés acometidos pela miopatia WB de filés normais. Portanto, o impacto dos filés com graus moderado e severo não foi apenas nas variáveis peso e altura cranial, mas também no comprimento e na largura dos filés.

#### 6.6.2 Atributos qualitativos da carne

O maior pH final observado em filés acometidos por miopatia moderada e severa quando comparados aos filés normais foi similar aos resultados encontrados por Kuttappan *et al.* (2017) e diferente dos resultados encontrados por Soglia *et al.* (2016), que não verificaram diferenças do pH final entre filés normais e com WB, mas

constatarem aumento quando *wooden breast* e *white striping* foram identificados juntos em um mesmo filé. Este resultado encontrado pelos autores pode representar perdas qualitativas, nutricionais e econômicas consideráveis para a indústria avícola, uma vez que pH maior, como verificado no presente estudo, pode estar relacionado com a utilização alterada da glicose em aves afetadas pela WB e resultar em redução do glicogênio muscular.

Outra possibilidade é que as reservas de glicogênio estejam reduzidas devido ao estresse e dor causados pela miopatia. De fato, quando Abasht *et al.* (2016) caracterizaram o perfil metabólico de filés de frangos de corte acometidos pela WB, verificaram alteração do metabolismo de aminoácidos e carboidratos, devido aos níveis elevados de histidina acompanhados por acúmulo de histamina, o qual está associado a dor e inflamação. Além disso, os autores notaram redução do glicogênio muscular combinada com níveis reduzidos de enzimas glicolíticas (glicose 6 fosfato e frutose 6 fosfato), as quais são importantes para produção de ATP em músculos *post mortem* (Cai *et al.*, 2018) e dos produtos finais do metabolismo muscular, tais como o ácido láctico e o piruvato. A redução do glicogênio muscular em ambos os casos pode refletir nas alterações dos processos bioquímicos envolvidos na transformação do músculo em carne, resultando em manutenção do pH em níveis mais altos.

O parâmetro luminosidade ( $L^*$ ) não diferiu entre os graus de severidade da miopatia WB. De maneira oposta, Mudalal *et al.* (2015) verificaram valores de cor mais claros ( $L^*$ ) em comparação aos filés de peito normais, o que poderia estar relacionado com valores mais altos de pH e das modificações do tecido muscular após degeneração dos músculos anormais. Kuttappan *et al.* (2017) ao avaliarem o impacto das miopatias nos parâmetros de qualidade da carne em filés de peito de frangos de corte em diferentes idades (6 e 9 semanas de idade), não analisaram os parâmetros  $L^*$  e  $a^*$ , apenas o

parâmetro  $b^*$ . Segundo os autores, o parâmetro  $b^*$ , que indica o teor de amarelo dos filés, é o mais importante devido estar relacionado com a incidência de alterações miopáticas em filés de peito de frangos.

Os maiores teores de vermelho ( $a^*$ ) e de amarelo ( $b^*$ ) em filés com grau severo de miopatia deste estudo são semelhantes aos resultados encontrados por Kuttappan *et al.* (2017), que notaram que os filés estavam mais amarelos ( $b^*$ ) e com presença de petéquias hemorrágicas observadas visualmente à medida que a gravidade de WB aumentava, o que poderia estar relacionado com maior teor de lipídeos e com a presença de hemorragias provenientes da ruptura dos vasos sanguíneos ou dos capilares, respectivamente.

Embora não detectada diferenças na CRA entre os graus de severidade de WB, filés acometidos por miopatia moderada e severa apresentaram maiores perdas por gotejamento (DL) em relação aos filés normais. A elevada perda de água observada nos músculos com miopatia neste estudo deve-se ao encolhimento das proteínas miofibrilares e pela desnaturação dos filamentos de miosina (Hughes *et al.*, 2014). Outro aspecto relevante como indicado por Bowker e Zhuang (2015), poderia ser pelos maiores graus de desnaturação da proteína sarcoplasmática glicogênio fosforilase, a qual desempenha função importante no metabolismo muscular, em filés que possuem baixa capacidade de preservar a água, seja nas etapas de processamento ou de armazenamento da carne.

A perda de peso por cozimento (PPC) foi maior conforme o aumento da severidade da WB. Estes resultados foram semelhantes ao encontrado por Soglia *et al.* (2016), de forma que a maior perda de água por cozimento, provavelmente, esteja relacionada com a redução da proteína e da degeneração das fibras musculares acompanhadas de fibrose e lipidose (Soglia *et al.*, 2016).

Zhuang e Savage (2013) informaram que o cozimento baseado no método de descongelamento em filés de peito de frangos de corte possui menores PPC e FC em

relação a amostras preparadas em situações congeladas, o que proporcionou melhor qualidade de carne. Por outro lado, a perda de água durante o armazenamento, congelamento e descongelamento está relacionada com a quantidade de água liberada das miofibrilas e a facilidade com que pode deixar a rede da estrutura muscular (Hughes *et al.*, 2014). Desta forma, quanto menos água perdida é sugestivo de carnes com proteínas íntegras e de alta funcionalidade, os quais produzem produtos de qualidade superiores.

Após análise de perdas de peso por cozimento (PPC) no presente estudo, os filés acometidos por miopatia moderada e severa de WB cozidos apresentaram diferenças visuais de coloração na porção ventral dos músculos (Figura 2). Os filés com graus moderado e severo cozidos foram mais escuros e amarelados do que os filés normais cozidos, o que poderia ser explicado pelas maiores perdas de água durante o gotejamento e cozimento ou ainda pela presença de fluído viscoso juntamente com estrias ou listras brancas finas visíveis entre as fibras musculares. Embora a causa dessa coloração anormal seja desconhecida até o momento, Zhuang e Bowker (2018) pela primeira vez também notaram diferenças na aparência visual entre os filés acometidos por WB e normais cozidos. Segundo os autores, provavelmente o aumento de hemorragia petequeal ou sangue na superfície dos filés poderia ter contribuído para a coloração anormal visível na superfície nos filés cozidos.

As menores perdas por descongelamento (PPD) verificado em filés com graus moderado e severo após 30 dias de armazenamento foram diferentes dos resultados obtidos por Tasoniero *et al.* (2016), que não verificaram diferenças na perda por descongelamento entre os filés normais, WS e WS/WB após 6 meses de armazenamento. No presente estudo, a maior perda por descongelamento em filés normais foi provavelmente em virtude do tempo de armazenamento congelado, que possivelmente foram afetados pelos processos de congelamento e descongelamento, de modo que a taxa

de congelamento pode ser determinada pelo tamanho dos cristais de gelo formados na carne e refletir nas alterações dos atributos qualitativos da carne (Zhuang e Savage, 2013).

Os resultados da textura demonstraram que filés acometidos por miopatia severa possuem menor força de cisalhamento em relação aos filés normais, de modo que os filés com graus moderados apresentaram valores intermediários. De maneira semelhante, Brambila et al. (2018) constataram menor força de cisalhamento pelo método Warner-Bratzler para filés WB em relação aos filés normais e armazenados a 4°C.

A menor força de cisalhamento notada em filés com grau severo de WB neste estudo é devido a formação de cristais de gelo formado durante o congelamento, o qual pode danificar as fibras musculares e causar alterações bioquímicas provocando a ruptura da estrutura física da carne e proporcionar a maciez ou através da fragmentação das fibras musculares pela ação enzimática durante o descongelamento da carne (Leygonie *et al.*, 2012). As lesões miopáticas provenientes da degeneração muscular e necrose das fibras no músculo peitoral (Trocino *et al.*, 2015; Soglia *et al.*, 2016) modificam a estrutura das fibras musculares e desta forma podem ficar mais sensíveis ao corte e permitir menor força de cisalhamento em comparação aos filés normais. No presente estudo, o método Warner-Bratzler foi suficiente para diferenciar a maciez em filés cozidos nos graus normais, moderados e severos da miopatia WB.

O IFM se comportou semelhante aos resultados da FC, ou seja, conforme os valores de FC diminuíram maior foi o IFM conforme o grau de severidade da miopatia WB. Neste estudo, filés de peito com classificação mais severa de WB apresentaram maior IFM em relação aos filés normais, enquanto que filés com grau moderado exibiram valores intermediários. Esse comportamento foi semelhante aos resultados obtidos por Tijare *et al.* (2016) e Sun *et al.* (2018), em que o índice de fragmentação gravimétrica, método que também mede o grau de fragmentação miofibrilar, foram maiores em filés de

frangos de corte de acordo com o grau de severidade da miopatia wooden breast quando comparados aos filés normais. Segundo os autores, este aumento foi relacionado com o aumento da quantidade de colágeno e da proteólise *post mortem*, respectivamente.

Embora a degeneração muscular e a necrose das fibras musculares possam ser fatores contribuintes para o maior IFM encontrados em filés severos de WB como neste estudo e indicados, por exemplo, pelo estresse oxidativo através da enzima Anidrase carbônica III (Cai *et al.*, 2018) ou pela 1-metilhistidina (Abasht *et al.*, 2016).

#### 6.6.4 Composição química

A composição química dos filés de peito foi afetada pelo grau de severidade da miopatia WB. A maior umidade observada em filés acometidos por miopatia severa quando comparado aos filés normais e moderados poderia ser explicada pela ocorrência de edema (acúmulo de líquido) como resultado de processos inflamatórios (Sihvo *et al.*, 2014).

O teor de proteína bruta foi menor em filés com graus moderado e severo dessa miopatia, enquanto que o teor de lipídeos nos filés com graus moderado e severo foram maiores em relação aos filés normais. O colágeno total aumentou conforme o grau da miopatia. Da mesma forma, Cai *et al.* (2018) verificaram que filés com WB continham maiores teores de lipídeos, umidade e menos proteína bruta quando comparado aos filés normais.

Essas diferenças possivelmente são devido a miodegeneração progressiva e regeneração do tecido muscular, bem como a infiltração de tecidos conjuntivo (fibrose) e lipídeos (lipidose) em substituição às fibras musculares (Soglia *et al.*, 2016; Sihvo *et al.*, 2014; Sihvo *et al.*, 2017).

Desta forma, a miodegeneração das fibras musculares pode resultar na diminuição no teor de proteína, de forma que a fibrose pode aumentar o teor de colágeno e a lipidose aumentar os teores de lipídeos em filés moderados e severos de WB como relatado no presente estudo.

Além disso, Petracci *et al.* (2013) relataram que o filé de peito em linhagens de alto rendimento sem miopatias também exibiram teores de proteína bruta menores e tendeu a ter maior umidade, demonstrando que a degeneração da microestrutura muscular é capaz de determinar a redução da proteína e aumentar a umidade.

O teor de cinzas diminuiu conforme grau da miopatia, especificamente, o menor teor de cinzas observado em filés com graus moderado e severo de WB no presente estudo, pode ser devido as alterações iônicas ocasionada pelo aumento de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e sódio ( $\text{Na}^+$ ) ou pela redução de suprimento sanguíneo relatado na fase inicial do desenvolvimento da miopatia WB que talvez esteja relacionado com as mudanças ultra-estruturais no desequilíbrio osmótico (Sihvo *et al.*, 2018). Embora ainda não compreendida completamente, estudos futuros envolvendo a regulação de íons (cálcio, potássio e sódio) associados com lesões musculares são necessários para melhor compreensão da miopatia *wooden breast* em filés de frangos de corte.

No presente estudo, os filés acometidos por miopatia moderada e severa apresentaram maior razão lipídeos/proteína bruta quando comparado aos filés normais. Por outro lado, a razão colágeno/proteína bruta aumentou conforme o grau de severidade da miopatia. Este aumento, também observado por Petracci *et al.* (2014), demonstra que filés com graus moderado e severo de WB possuem maiores perdas de qualidade nutricional e funcional das proteínas. A menor qualidade nutricional é em virtude da baixa digestibilidade do colágeno, baixa proporção de aminoácidos essenciais, como metionina, cisteína, tirosina e triptofano ou através da estabilidade das fibrilas e fibras de colágeno

(Nishimura, 2015), expresso pelo aumento de decorina (Clark e Valleman, 2017). A baixa qualidade funcional provavelmente está relacionada com a menor capacidade de retenção de água do colágeno em relação as proteínas sarcoplasmáticas e miofibrilares (Bowker e Zhuang, 2015).

#### 6.6.5 Atributos sensoriais dos filés de peito

Embora a intensidade de aroma, aroma e sabor estranho não tenham sido distinguidos entre os graus de severidade da miopatia WB pelos provadores, as respostas em relação as perguntas abertas revelaram que filés acometidos por miopatia moderada e severa estavam associados com o sabor e aroma característicos de ranço.

De fato, os filés com graus moderado e severo apresentaram maior teor de lipídeos em comparação aos filés normais o que pode ter conduzido ao sabor e aroma gorduroso para os avaliadores. Por outro lado, Tasoniero *et al.* (2016) verificaram que os painelistas, composto por 10 pessoas treinadas, não encontraram nenhuma diferença em relação a percepção específica de odor, sabor estranho, suculência e gordura entre filés normais, WS e WS/WB.

O sabor característico de frango foi melhor evidenciado pelos provadores nos filés com grau severo quando comparado aos filés moderados e normais, o que poderia ser explicado pelas variações de paladar entre os consumidores e pela maior quantidade de lipídeos.

Filés acometidos pela miopatia nos graus moderado e severo apresentaram melhor maciez e mastigabilidade em relação aos filés normais. Os resultados dos provadores foram semelhantes aos obtidos nas análises de IFM e FC. Desta forma, as lesões miopáticas e os processos de miodegeneração em filés com grau severo dessa miopatia possibilitou melhor maciez, devido a fragmentação das fibras musculares

possibilitando que os provadores distinguíssem melhor a maciez, ou seja, menor força para romper as amostras entre os dentes molares e melhor mastigabilidade, momento em que a amostra desintegra facilmente na boca e torna-se menos elástica e fácil de deglutir. Da mesma forma, Brambila *et al.* (2018) através dos perfis sensoriais de textura, com 8 pessoas treinadas, verificaram que filés WB eram mais elásticos do que os filés normais.

A suculência aumentou de acordo com o grau de severidade da miopatia (maior umidade na boca durante a mastigação), deste modo, os filés de graus moderado e severo proporcionaram maior suculência em relação aos filés normais, devido a maior quantidade de água conservada através das proteínas miofibrilares, actina e miosina, também verificado pela maior porcentagem de umidade, ou pelo alto teor de lipídeos que proporcionou aspecto agradável para os provadores.

A preferência dos provadores permitiu demonstrar que preferem filés acometidos por miopatia severa, seguida da moderada e por último o grau normal. Esta escolha foi possível devido os provadores identificarem melhor sabor, maciez, suculência e mastigabilidade em filés acometidos pela WB, sugerindo que o ser humano é capaz de analisar e interpretar as características sensoriais dos filés de acordo com o grau de severidade da miopatia *wooden breast*.

#### 6.6.6 Histologia

As observações das fotomicrografias realizadas em filés acometidos por miopatia moderada e severa permitiram verificar que ambas apresentaram fibras musculares de tamanho pequeno, ausência de forma poligonal característico das fibras, infiltração de tecido conjuntivo endomisial separando as fibras, ou seja, sugestivo de fibrose (aumento da deposição de colágeno) e acompanhadas de fibras com degenerações e necrose. Estas alterações foram consistentes com a classificação macroscópica realizada

nos músculos e dos resultados inferiores relacionados as propriedades qualitativas da carne no presente estudo.

De forma semelhante, Kawasaki *et al.* (2018) constataram diminuição da forma poligonal das fibras, alterações degenerativas, fibras de tamanho pequeno e espessamento intersticial com fibrose em filés acometidos pela miopatia *wooden breast*. De acordo com os autores, estes resultados sugerem que a diminuição na forma poligonal característica das miofibras, provavelmente foi devido as degenerações musculares provenientes do suprimento sanguíneo insuficiente.

Clark e Velleman (2017) observaram maior porcentagem de fibras pequenas (diâmetro menor que 10  $\mu\text{m}$ ) em filés WB quando comparado aos filés normais, indicando que talvez essas fibras pequenas eram fibras em regeneração, ao qual é iniciada por dano muscular que ativa as células satélites, já que em filés acometidos pela WB a expressão de fatores reguladores miogênicos (MYOD1 e miogenina) foram altos em relação aos filés normais. Por outro lado, fibras grandes (diâmetro maior que 70  $\mu\text{m}$ ) podem reduzir o espaço disponível do tecido conjuntivo e limitar a quantidade de vascularização, o que pode contribuir tanto para a necrose devido ao acúmulo de ácido lático como também a inibição do reparo e regeneração mediada por células satélites (Clark e Velleman, 2017). A presença de fibras necróticas como relatado neste estudo pode ser sinais de lesão estrutural da fibra muscular (Petracci *et al.*, 2013).

## 6.7 Conclusão

Filés acometidos pela miopatia moderada e severa de WB alteraram as medidas morfométricas dos filés, reiterando o pressuposto de que o alto rendimento de peito e a taxa de crescimento acelerado exerce papel fundamental no surgimento das anormalidades no músculo peitoral dos frangos. Além disso, filés com grau moderado e

severo de miopatia desempenharam maiores efeitos prejudiciais nas características de qualidade, composição química e indicaram que o ser humano consegue discernir os atributos sensoriais. Desta forma, mais estudos são necessários para entender as diferenças visuais de coloração na porção ventral após cozimento e desenvolver métodos capazes de identificar eficientemente a maciez dos filés acometidos pela miopatia WB para proporcionar melhor rentabilidade no processamento industrial e minimizar o efeito negativo na qualidade da carne.

## 6.8 Agradecimentos

Os autores externam seus agradecimentos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES – Brasília, DF, Brasil) pelo apoio financeiro e a BRF pelo fornecimento de amostras de carne para esta pesquisa.

## 6.9 Referências

- ABASHT, B. et al. Oxidative Stress and Metabolic Perturbations in Wooden Breast Disorder in Chickens. **Plos One**, v. 11, n. 4, p. 1–16, 2016.
- AOAC. 1990. Meat and meat products. Pages 931–948 in Official Methods of Analysis. 15th ed. Vol. 2. Assoc. Off. Anal. Chem., Washington, DC.
- BOWKER, B.; ZHUANG, H. Relationship between water-holding capacity and protein denaturation in broiler breast meat. **Poultry Science**, v. 94, p. 1657–1664, 2015.
- CAI, K. et al. Meat quality traits and proteome profile of woody broiler breast (pectoralis major) meat. **Poultry Science**, v. 97, p. 337–346, 2018.

- CLARK, D. L.; VELLEMAN, S. G. Spatial influence on breast muscle morphological structure, myofiber size, and gene expression associated with the wooden breast myopathy in broilers. **Poultry Science**, v. 95, p. 2930–2945, 2017.
- CULLER, R.D.; PARRIS, F.C.; SMITH, G.C. Relationship of myofibril fragmentation index to certain chemical, physical and sensory characteristics of bovine *longissimus* muscle. **Journal of Food Science**, v. 43, p. 11-77, 1978.
- DE BROT, S. et al. Wooden breast lesions in broiler chickens in the UK. **Veterinary Record**, v. 178, n. 6, p. 141, 2016.
- DROVAL, A. A. et al. Consumer attitudes and preferences regarding pale, soft, and exudative broiler breast meat. **The Journal of Applied Poultry Research**, v. 21, p. 502–507, 2012.
- HAMM, R. Biochemistry of meat hydration. **Advances in Food Research**, Cleveland, v. 10, n. 2, p. 335-443, 1960.
- HONIKEL, K.O. Influence of chilling on meat quality attributes of fast glycolysing pork muscles. In: **Evaluation and control of meat quality in pigs**. Tarrant PV, Eikelenboom G, Monin G, ed. Martinius Nijhoff, Dordrecht. 273-283p, 1987.
- HUGHES, J. M. et al. A structural approach to understanding the interactions between colour, water-holding capacity and tenderness. **Meat Science**, v. 98, p. 520–532, 2014.
- JOINER, K. S. et al. Evaluation of Capillary and Myofiber Density in the Pectoralis Major Muscles of Rapidly Growing, High-Yield Broiler Chickens During Increased Heat Stress. **Avian Diseases**, v. 58, p. 377–382, 2014
- KAWASAKI, T. et al. Rapid growth rate results in remarkably hardened breast in broilers during the middle stage of rearing: A biochemical and histopathological study. **Plos One**, v. 13, n. 2, p. 1–14, 2018.

- KUTTAPPAN, V. A. et al. Incidence of broiler breast myopathies at 2 different ages and its impact on selected raw meat quality parameters. **Poultry Science**, v. 96, p. 3005–3009, 2017.
- LEYGONIE, C.; BRITZ, T. J.; HOFFMAN, L. C. Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review. **Meat Science**, v. 91, p. 93–98, 2012.
- MICHALANY, J. **Técnica histológica em anatomia patológica**: com instruções para o cirurgião, enfermeira e citotécnico. 2. ed. São Paulo: Editora Michalany, 1990. 277p.
- MUDALAL, S. et al. Implications of white striping and wooden breast abnormalities on quality traits of raw and marinated chicken meat. **Animal**, v. 9, n. 4, p. 728–734, 2015.
- NISHIMURA, T. Role of extracellular matrix in development of skeletal muscle and postmortem aging of meat. **Meat Science**, v. 109, p. 48–55, 2015.
- PETRACCI, M. et al. Comparison of breast muscle traits and meat quality characteristics in 2 commercial chicken hybrids. **Poultry Science**, v. 92, p. 2438–2447, 2013.
- PETRACCI, M. et al. Effect of white striping on chemical composition and nutritional value of chicken breast meat. **Italian Journal of Animal Science**, v. 13, p. 179–183, 2014.
- SAMS, A. R.; JANKY, D. M.; WOODWARD, S. A. Comparison of Two Shearing Methods for Objective Tenderness Evaluation and Two Sampling Times for Physical-Characteristic Analyses of Early-Harvested Broiler Breast Meat. **Poultry Science**, v. 69, p. 348–353, 1990.
- SANCHEZ BRAMBILA, G. et al. Descriptive texture analyses of broiler breast fillets with the wooden breast condition stored at 4°C and -20°C. **Poultry Science**, v. 97, p. 1762–1767, 2018.

- SIHVO, H. K. et al. Pectoral Vessel Density and Early Ultrastructural Changes in Broiler Chicken Wooden Breast Myopathy. **Journal of Comparative Pathology**, v. 161, p. 1–10, 2018.
- SIHVO, H. K. et al. Wooden Breast Myodegeneration of Pectoralis Major Muscle Over the Growth Period in Broilers. **Veterinary Pathology**, v. 54, n. 1, p. 119–128, 2017.
- SIHVO, H. K.; IMMONEN, K.; PUOLANNE, E. Myodegeneration With Fibrosis and Regeneration in the Pectoralis Major Muscle of Broilers. **Veterinary Pathology**, v. 51, n. 3, p. 619–623, 2014.
- SOGLIA, F. et al. Histology, composition, and quality traits of chicken Pectoralis major muscle affected by wooden breast abnormality. **Poultry Science**, v. 95, p. 651–659, 2016.
- SOGLIA, F. et al. Superficial and deep changes of histology, texture and particle size distribution in broiler wooden breast muscle during refrigerated storage. **Poultry Science**, v. 96, p. 3465–3472, 2017.
- SUN, X. et al. Instrumental compression force and meat attribute changes in woody broiler breast fillets during short-term storage. **Poultry Science**, v. 97, p. 2600–2606, 2018.
- TASONIERO, G. et al. Technological quality, mineral profile, and sensory attributes of broiler chicken breasts affected by White Striping and Wooden Breast myopathies. **Poultry Science**, v. 95, p. 2707–2714, 2016.
- TIJARE, V. V. et al. Meat Quality of Broiler Breast Fillets with White Striping and Woody Breast Muscle Myopathies. **Poultry Science**, v. 95, p. 1–7, 2016.
- TROCINO, A. et al. 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**, v. 94, p. 2996–3004, 2015.

VAN LAACK, R. L. J. M. et al. Characteristics of Pale , Soft , Exudative Broiler Breast Meat. **Poultry Science**, v. 79, p. 1057–1061, 2000.

WOESSNER JR, J.F. The determination of hidroxiproline in tissue and protein samples containg small proportions of this amino acid. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 93, p. 440-447, 1961.

ZHUANG, H.; BOWKER, B. The wooden breast condition results in surface discoloration of cooked broiler pectoralis major. **Poultry Science**, p. 1–4, 2018.

ZHUANG, H.; SAVAGE, E. M. Comparison of cook loss, shear force, and sensory descriptive profiles of boneless skinless white meat cooked from a frozen or thawed state. **Poultry Science**, v. 92, p. 3003–3009, 2013.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presença de lesões musculares verificadas na linha de abate, em filés de frangos de corte de linhagens de alto rendimento de peito, é uma preocupação emergente para a indústria avícola e demanda de estratégias que viabilizem o sistema de produção para amenizar as perdas econômicas provenientes das condenações das carcaças ou pela rejeição dos consumidores, tendo em vista que o Brasil ainda não determina um critério referente a aceitabilidade ou condenação dos filés acometidos pelas anormalidades musculares, como a WB.

A dificuldade enfrentada pela indústria e produtores é diminuir a ocorrência dessas anormalidades, mas sem prejudicar os índices zootécnicos alcançados na atualidade, visto ser considerado uma das principais causas que diminuem a qualidade da carne do peito e com potencial de impactar a escolha do consumidor final. Entre os parâmetros de qualidade, a textura é uma das características mais relevantes da miopatia *wooden breast*, seja pelo comportamento do consumidor ou pela utilização de qual método é o mais ideal para identificar a maciez, já que há certa subjetividade devido as modificações no tecido muscular atrelado ao rápido crescimento corporal. Desta forma, estudos futuros são necessários para melhor esclarecimento do efeito exercido sobre o aumento da maciez em filés *wooden breast* conforme o grau de severidade.

Como relatado no presente estudo, os defeitos estéticos observados nos filés acometidos por miopatia moderada e severa após cozimento também é um problema recente que pode afetar fortemente a percepção do consumidor. Assim, mais pesquisas devem ser realizadas avaliando-se as diferenças na aparência visual entre os graus de severidade dos filés crus e cozidos de WB, como também ver a aceitabilidade dos consumidores, a fim de explicar satisfatoriamente os efeitos diversos desta anormalidade nas características de qualidade da carne.

Os resultados observados neste estudo contribuíram para melhor compreensão sobre as alterações causadas pela miopatia WB em relação as características sensoriais e qualitativas da carne do peito de frangos de corte. Resultados de pesquisas verificados na literatura científica em relação a sua etiologia ainda são insuficientes, uma vez que sua origem é de natureza multifatorial. Portanto, estudos que forneçam alternativas nutricionais ou de manejo relacionando o crescimento e desenvolvimento nas fibras musculares, podem ser eficazes para reduzir a ocorrência de miopatias nos músculos do peito de frangos de corte.