

Manual de Miopatias em Frangos de Corte

Conteúdo

Seção 1: Visão geral

- 1.1. Ações que podem reduzir a incidência e a gravidade das miopatias em frangos de corte (broiler myopathies (BM))

Seção 2 - Introdução

- 2.1. História das BM
- 2.2. Resposta da Aviagen às BM

Seção 3: História das BM

- 3.1. Tipos de frangos de corte afetados pelas BM
- 3.2. Distribuição das BM no mundo
- 3.3. Segurança alimentar/rejeição no abatedouro
- 3.4. Consequências econômicas

Seção 4: Histologia das BM

- 4.1. Miopatia peitoral interna
 - 4.1a. Miopatia peitoral profunda
 - 4.1b. Músculo peitoral profundo "Difusa"
- 4.2. Músculo estriado
- 4.3. Peito amadeirado
- 4.4. Peito esparguete
- 4.5. Miopatia dorsal cranial

Seção 5: Impacto das BM na qualidade da alimentação

- 5.1. Peito Estriado
- 5.2. Peito amadeirado
- 5.3. Peito fibroso e esponjoso ou peito espaguete
- 5.4. Pálida, mole e exsudativa
- 5.5. Escura, firme e seca
- 5.6. Miopatia peitoral profunda

Seção 6: Biologia muscular básica

- 6.1. Estrutura e função
- 6.2. Desenvolvimento e crescimento muscular
- 6.3. Recuperação muscular
- 6.4. Alterações musculares pós-abate
- 6.5. Alterações fisiológicas que podem resultar em BM

Seção 7: Genética das BM

- 7.1. Estudos de expressão gênica
- 7.2. Estudos metabólicos e proteômicos
- 7.3. Estudos de alta geração genética

Seção 8: Taxa de crescimento e BM

- 8.1. Modificação do crescimento usando o controle quantitativo da ração
- 8.2. Modificação do crescimento usando a manipulação qualitativa da densidade da ração
- 8.3. Ajustes na lisina
- 8.4. Crescimento inicial e BM

Seção 9: Nutrição e BM

- 9.1. Fitase
- 9.2. Ajustes na lisina e altas doses de fitase
- 9.3. Arginina
- 9.4. Histidina
- 9.5. Metionina+Cisteína (TSAA)
- 9.6. Aminoácidos de cadeia ramificada (BCAA)
- 9.7. Outros aminoácidos
- 9.8. Minerais orgânicos
- 9.9. Programas anticoccidianos
- 9.10. Ração pré-inicial
- 9.11. Antioxidantes
- 9.12. Ácido guanidinoacético
- 9.13. Outros produtos

Seção 10: Manejo e BM

- 10.1. Incubação
- 10.2. Acesso à ração pós nascimento
- 10.3. Temperatura corporal/ambiente
- 10.4. Níveis de dióxido de carbono
- 10.5. Programa de iluminação
- 10.6. Altura da cama no aviário
- 10.7. Bater das asas/atividades das aves
- 10.8. Redução da densidade do aviário (thinning)

Seção 11: Doença e BM

Seção 12: Processamento

- 12.1. Efeitos do manejo pré-abate
- 12.2. Processamento
- 12.3. Resfriamento da carcaça

Seção 13: Apêndices

- 13.1. Desenho do estudo experimental
- 13.2. Score de BM
- 13.3. Taxa de crescimento diário

Referências

1. Visão geral

Este documento foi elaborado e revisado pela Aviagen® Meat Quality Working Group e por outros consultores independentes especializados nessa área.

1.1. Ações que podem reduzir a incidência e a gravidade das miopatias em frangos de corte (broiler myopathies (BM))

- Concentre-se em garantir um manejo adequado de aquecimento, uma ventilação mínima adequada (não permita níveis de $\text{CO}_2 > 3000$ ppm), alimento de boa qualidade e um bom acesso à ração.
- Obtenha um bom crescimento nos primeiros 10 dias, pois esse período é importante para o desenvolvimento muscular. O objetivo de crescimento é atingir um peso corporal de pelo menos 4 vezes o peso de alojamento aos 7 dias.
- Evite estimular um grande desenvolvimento repentino (> 120 g ou 0.26 lbs/d), por exemplo, após o processo de redução da densidade do aviário (thinning) (melhor explicado no item 10.8).
- Minimize a agitação das aves, para evitar o bater de asas excessivo.
- Evite temperaturas corporais elevadas nos frangos durante as fases de crescimento intermediária e final. Preste atenção na temperatura ao nível da ave e verifique se há bom movimento de ar à sua volta. Não use aditivos alimentares que elevem a temperatura corporal ou afetem a capacidade da ave de controlar a sua temperatura corporal.
- Siga as recomendações nutricionais da Aviagen. Preste muita atenção aos níveis de aminoácidos que estejam acima dos valores recomendados pela Aviagen.
- Há fortes indícios de que a modificação do perfil de crescimento diminui a incidência de BM, embora possa haver perda no desempenho dos frangos de corte. A modificação da curva de crescimento pode ser alcançada através da:
 - Redução da quantidade de ração fornecida às aves para 97% do alimento *ad libitum*. Recomenda-se que isso seja feito entre 15 a 32 dias.
 - Uma redução dos níveis de lisina na dieta para 85% do valor recomendado pela Aviagen durante o período em que as aves estão crescendo mais rapidamente (15 a 32 dias) resultou em diminuição expressiva de BM com efeito mínimo ou nenhum efeito sobre o desempenho vivo e no processamento.
- O período de crescimento reduzido deve levar em conta a idade de processamento final para que as aves passem por um período de recuperação antes do abate. O tratamento não deve começar antes de 14 dias de idade e o tempo de restrição deve corresponder a no máximo a 25% do total de ração consumida pelo frango.
- Quando todas as dietas forem vegetais, considere o uso de fontes de suplemento à base de creatina.
- Considere uma super dosagem de fitase, equivalente a 3 a 6 vezes o valor recomendado pelo fabricante; o aumento exato dependerá da avaliação de custo-benefício.
- Utilize óleos e gorduras estáveis, de boa qualidade, com antioxidantes na produção desses ingredientes e também via ração.
- Se houver algum problema com peito espaguete (Stringy-spongy (SS)), observe a temperatura de escaldagem, sistema de depenagem, e o tempo de resfriamento de carcaça no abatedouro.

2. Introdução

Nos últimos anos tem havido um aumento no número de BM nos abatedouros de aves que, em alguns casos, pode acarretar graves consequências econômicas para o produtor e ter impacto negativo na preferência do consumidor pela carne de frango. Embora a incidência de BM seja imprevisível e não seja observada em todas as regiões do mundo, esta questão ganhou importância para o setor como um todo. Consequentemente, a Aviagen e muitos pesquisadores de universidades têm investido muito tempo e recursos no estudo do assunto.

A primeira versão do Manual de BM foi lançada em 2019 e apresentou um resumo do trabalho de investigação da Aviagen para compreender a fisiologia, as causas metabólicas e os fatores envolvidos na incidência e a gravidade da BM. Desde o lançamento da primeira versão do manual, a compreensão das miopatias e das influências multifatoriais envolvidas aumentou, tanto no que se refere à profundidade do conhecimento sobre as miopatias peitorais quanto a outras não específicas do músculo peitoral. Da mesma forma, o volume estudos e dados de campo permitiu que a Aviagen expandisse sua capacidade investigativa para complementar a pesquisa existente e explorar novas áreas.

O objetivo desta versão revisada é atualizar e complementar a publicação anterior, incorporando as descobertas das pesquisas mais recentes sobre as miopatias em frangos de corte. Muitos dos pontos destacados no primeiro Manual de BM continuam sendo seu conteúdo central; também foram incluídos mais detalhes sobre assuntos como processamento e nutrição. Agora, o conteúdo também abrange miopatias que não são específicas do músculo peitoral, como a miopatia dorsal cranial.

Nem todas as miopatias abordadas têm muita influência na qualidade do produto, mas são incluídas no intuito de fornecer um panorama abrangente.

2.1. História das BM

A primeira miopatia em frangos de corte importante que afetou o setor avícola foi a miopatia peitoral profunda (deep pectoral myopathy (DPM)), também chamada de doença do músculo verde ou doença de Oregon, inicialmente identificada em perus na década de 1960. A DPM manifesta-se no músculo do sassami (um ou os dois músculos peitorais profundos), que atrofia, necrosa e se torna esverdeado. Essa condição também foi observada em frangos de corte na década de 1990 e ainda é observada em unidades de processamento com alguma frequência.

Na década de 1990, foram descritas duas condições relacionadas com a cor da carne do peito dos frangos de corte: pálida, mole e exsudativa (pale, soft, exudative (PSE)) e escura, firme e seca (dark, firm, dry (DFD)). A PSE foi observada inicialmente em suínos e descobriu-se que deriva da mutação de um único gene. No entanto, em frangos verificou-se que nenhuma das duas condições derivava de um único gene, mas principalmente do estresse antes do processamento, do momento do carregamento das aves até o abatedouro. Embora a PSE e a DFD apresentem níveis baixos na maioria das empresas, não causando problemas de aceitação do consumidor, elas afetam levemente a qualidade da carne.

Desde 2010, três tipos de BM têm sido relatados mais frequentemente: estriações musculares (white striping (WS)), peito amadeirado (wooden breast (WB)) e a (stringy-spongy (SS)), também chamada de espaguete ou de peito mole. Na maioria dos casos, a WS não afeta a aceitação do consumidor de carne de peito de frango, mas a WB e a SS, quando graves, provocaram problemas em alguns produtos. Essas miopatias podem ter ocorrido antes de 2010, mas sem causar problemas nos abatedouros.

2.2. Resposta da Aviagen às BM

Ainda que a DPM tenha sido parte do objetivo de melhoramento da Aviagen por muitos anos, condições como WS, WB e SS foram adicionadas ao objetivo de melhoramento em 2012 no intuito de reduzir a propensão genética para expressá-las em campo.

A Aviagen seleciona para a propensão genética das BM como uma meta de reprodução equilibrada, que também inclui outras características relacionadas à eficiência biológica, como rendimento, robustez, bem-estar e uma adequada evolução reprodutiva. Deve-se observar que é improvável que a incidência de BM desapareça apenas com seleção genética, já que fatores não genéticos também afetam a incidência das miopatias (**Veja a Seção 7**).

Além disso, a abordagem da Aviagen é multidisciplinar, envolvendo nutricionistas, veterinários, geneticistas, especialistas em gestão e incubação para reunir informações e coordenar pesquisas sobre os fatores não genéticos que contribuem para a incidência de campo de todas as BM. A Aviagen realizou muitos estudos sobre fatores que poderiam afetar a incidência de BM, analisando a nutrição, manejo, incubação e a genética. A Aviagen também colaborou com universidades e empresas que realizam pesquisas sobre BM. Os resultados desses estudos e colaborações são apresentados neste manual.

3. História das BM

3.1. Tipos de frangos de corte afetados pelas BM

Evidências científicas e de campo mostram claramente que BM podem ocorrer em todos os genótipos de frangos de corte modernos do mercado, inclusive em cruzamentos de crescimento lento. O risco de BM é maior quando as aves crescem e atingem pesos maiores (> 3 kg ou 6.6 lbs), em idades mais avançadas.

3.2. Distribuição das BM no mundo

Embora essas miopatias tenham sido detectadas em algumas regiões do mundo como problema importante, sua ocorrência efetiva é esporádica e sua incidência varia muito quando elas se manifestam. A maioria dos casos foi notificada na UE, nos EUA, no Canadá, na Austrália, na Nova Zelândia, no Japão e Brasil. Em várias regiões do mundo, BM não são consideradas um problema. O tipo de miopatia observado varia segundo a empresa avícola; por exemplo, algumas informam casos de WB e outras, de SS. Atualmente, a miopatia mais prevalente é WS.

3.3. Segurança alimentar/rejeição no abatedouro

A disposição de BM em inspeções de saúde veterinária realizadas durante o processamento varia. Em geral, as BM são consideradas um problema de qualidade, não de segurança alimentar (Bilgili, 2016). Até hoje, não há evidência de contaminação bacteriana ou viral (**veja a Seção 10**). Parte do produto com BM é separada e colocada em condenação total (DPM) ou redirecionada para usos alternativos. No entanto, se a BM for grave e for acompanhada de sinais inflamatórios (ou seja, pequenos focos hemorrágicos, fluido gelatinoso etc.), as autoridades reguladoras podem exigir a condenação total da carcaça (Europa) ou o corte das áreas afetadas (Brasil e América do Norte).

3.4. Consequências econômicas

Estimar as consequências econômicas das BM é difícil, mas possível. A quantidade de músculo cortado e/ou descartado por causa de BM pode ser contabilizada se os músculos do peito forem desossados e for feita uma análise econômica sobre o produto perdido. No entanto, não existe nenhum modo prático para determinar a incidência de BM e, principalmente, da DPM nos mercados de carcaça inteira. Em relação às formas leves de BM, o produto separado é frequentemente redirecionado a segmentos de mercado alternativos (por exemplo, industrialização), permitindo uma recuperação do valor.

4. Histologia das BM

4.1 Miopatia peitoral interna

4.1a *Miopatia peitoral profunda (deep pectoral myopathy - DPM)*

Esta condição, detectada pela primeira vez em frangos de corte na década de 1980, é mais comumente conhecida como doença de Oregon ou doença do músculo verde. Trata-se de um processo degenerativo do músculo caracterizado por necrose e atrofia da parte interna do filé do peito, o sassami (ou seja, supracoracóideo ou músculos peitorais profundos). As lesões muitas vezes afetam a parte interna dos filés e apresentam cor variável, de um cor-de-rosa hemorrágico para uma coloração esverdeada (**Figura 1**).

Figura 1. Músculo peitoral com DPM.



Os dois músculos peitorais em espécies aviárias, o peitoral superficial ou maior (parte externa do filé) e o peitoral profundo ou menor (parte interna do filé) trabalham em sinergia para levantar e abaixar as asas. No entanto, a anatomia desses músculos é intrinsecamente diferente, sendo que a parte interna do filé tem uma bainha externa dura composta de tecido conjuntivo fibroso e denso, sem elasticidade. Já o músculo externo ou maior é envolvido por um tecido conjuntivo frouxo que se move facilmente sobre a superfície do músculo conforme seu contorno muda. A contração dos peitorais superficiais e profundos é responsável pelos movimentos para cima e para baixo das asas, respectivamente. Durante a contração, estes músculos se expandem com o aumento do fornecimento de sangue (ou seja, o bombeamento muscular). A expansão de até 25% do volume do músculo peitoral profundo é problemática, uma vez que esse músculo fica confinado em um “compartimento apertado” entre um osso (o esterno) e o filé grande do peito.

A bainha fibrosa rígida do músculo peitoral profundo impede que o volume muscular aumente. Portanto, quando a pressão intramuscular aumenta os níveis circulantes da pressão arterial, o fornecimento de sangue que flui para o músculo é interrompido e, com a atividade muscular contínua, desenvolve-se rapidamente uma deficiência de oxigênio, levando à morte por anoxia (necrose isquêmica) das fibras musculares. Há também um efeito aditivo do pH baixo do músculo devido ao acúmulo de ácido láctico. Em estudos experimentais, períodos relativamente curtos de batimento das asas se mostraram suficientes para induzir essas mudanças degenerativas.

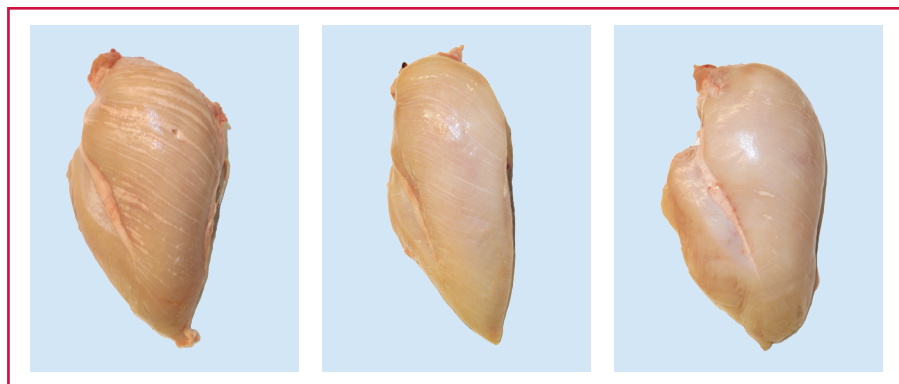
4.1b Músculo peitoral profundo Difuso (tender feathering, TF)

O TF é caracterizado por uma perda de integridade do músculo peitoral profundo ou também conhecido como sassami. A análise histológica demonstrou que não há diferenças significativas na estrutura do músculo macio com e sem feathering. Uma hipótese para o TF é que a falta de tecido conjuntivo no músculo aumenta o risco de ele se tornar frível. Essa teoria foi investigada pela quantificação do conteúdo de hidroxiprolina dos músculos peitorais internos com e sem feathering, a hidroxiprolina é um componente do colágeno e indica o grau de integridade do tecido conjuntivo no músculo. Os resultados não mostraram diferenças significativas na hidroxiprolina entre as amostras de músculo afetadas e não afetadas, o que indica que o TF não está ligado à redução do tecido conjuntivo no músculo peitoral profundo. O exame dos diferentes métodos de remoção da parte interna do filé da carcaça mostrou que a ocorrência de TF é mais provável com determinadas técnicas. O uso de compostos antimicrobianos, como o ácido peracético (peracetic acid, PAA), também pode representar um risco de desenvolvimento de TF. Embora o PAA ajude a minimizar o risco de contaminação bacteriana da carne de frango, a exposição prolongada ao PAA pode ter impacto no tecido conjuntivo da carne, causando o rompimento das fibras de colágeno. O método pelo qual os filés são retirados da carcaça ou a exposição a compostos antimicrobianos, como o PAA, pode aumentar o risco de formação de TF. A ocorrência de TF parece estar relacionada a problemas na integridade física do músculo, e não a razões de desenvolvimento.

4.2. Músculo estriado (White stripes, WS)

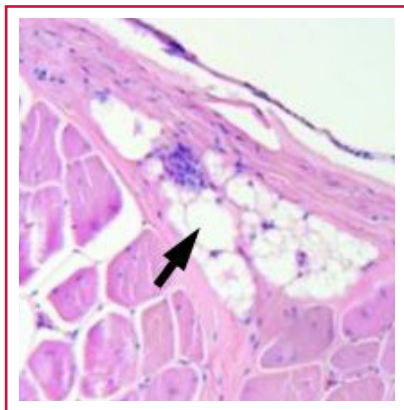
Os casos de WS em frangos de corte têm aumentado nos últimos anos. Essa condição afeta principalmente o músculo peitoral superficial ou maior e é caracterizada por linhas brancas visíveis, paralelas à direção das fibras musculares; a quantidade e a espessura dessas estriações musculares podem variar entre uma ave e outra (**Figura 2**).

Figura 2. Filés com graus variados de WS (da esquerda para a direita: leve, moderada e grave).



A análise histológica e química do músculo peitoral com WS revelou que as linhas brancas são compostas principalmente de tecido adiposo (**Figure 3**). A pesquisa revelou que a gravidade das WS aumentou e o percentual de gordura e de matéria seca do músculo aumentaram, confirmando as alterações histológicas com o aumento de adipogênese (deposição de gordura) nos tecidos.

Figura 3. Histomicrografia do filé de peito com WS. A listra branca é composta de tecido (seta) adiposo (gordura).

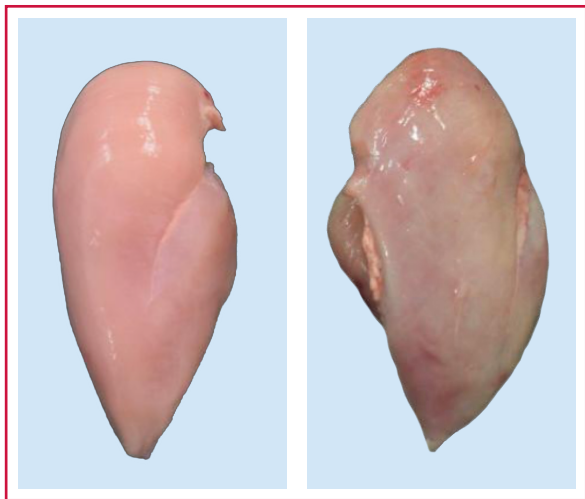


Observaram-se casos em que o tecido do peito gravemente afetado por WS pode apresentar aumento do tecido conjuntivo, com graus variados de degeneração da fibra muscular e regeneração a nível microscópico. Todo tecido muscular normalmente apresentará algum nível de degeneração e regeneração da fibra muscular, mas no caso das WS (e também do WB), o processo de regeneração resultará em gordura e o tecido conjuntivo será regenerado, em vez de apenas ser uma fibra muscular recuperada. Ainda não se sabe qual é a causa exata das WS, e a compreensão dessa condição ainda é uma área de pesquisa com muita atividade.

4.3. Peito amadeirado (WB)

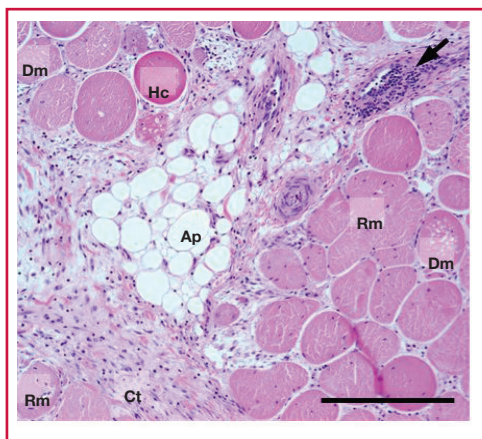
Essa miopatia também afeta o músculo peitoral maior e é caracterizada por um endurecimento do músculo peitoral, geralmente na parte mais grossa do filé. No entanto, em casos mais graves, o endurecimento pode ser afetar o músculo inteiro. Dependendo da gravidade do WB, também é possível observar a cor pálida, hemorragia na superfície e a presença de fluido gelatinoso na superfície do músculo (**Figura 4**).

Figura 4. Imagem de um filé sem WB (à esquerda) e de um filé com WB (à direita).



A análise histológica do músculo mostra a degeneração e regeneração ativas das fibras musculares, as fibras hipercontraídas e a infiltração de células do sistema imunológico. Além disso, aumentos da deposição do tecido adiposo (gordura) e do tecido conjuntivo (**Figura 5**) também podem ser observados, sendo que o tecido adiposo pode contribuir para o aumento da muscular. Em termos patológicos, a WB pode ser caracterizada como uma miodegeneração com fibrose e regeneração.

Figura 5. Histomicrografia do músculo peitoral com WB. As características do músculo incluem fibras musculares degenerando (Dm), fibras regenerando (Rm), tecido adiposo (Ap), fibra hipercontraída (Hc), tecido conjuntivo aumentado (TC) e infiltração celular (seta). A barra preta mostra a escala (100µm).



Tal como nas WS, a causa exata dessa condição ainda não é conhecida, entretanto, a pesquisa - discutida mais adiante neste documento - revela que muitos fatores podem aumentar o risco de ocorrência de WB.

4.4. Peito espaguete (Stringy-spongy (SS))

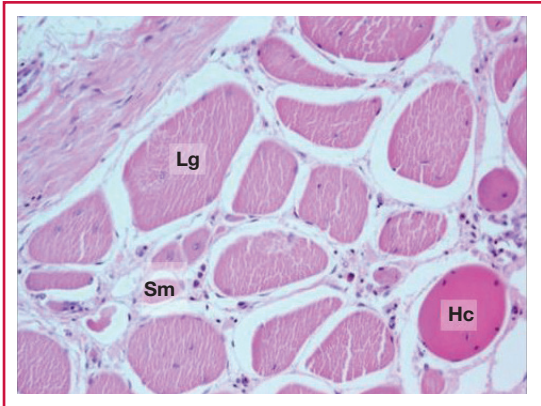
Esta condição, também conhecida como espaguete ou peito mole, é caracterizada pela perda estrutural do tecido conjuntivo e da integridade do músculo peitoral, levando à friabilidade e afrouxamento das fibras musculares. Os frangos de corte são jovens enquanto se desenvolvem e seus tecidos conjuntivos não têm a maturidade (ligações cruzadas) dos animais adultos, motivo pelo qual a carne dos animais jovens é tenra. Após o processamento, os feixes de fibras podem se separar e o músculo pode ser facilmente puxado com a mão (**Figura 6**). Tal como em outras miopatias, a incidência e a gravidade da SS podem variar desde apenas uma pequena parte do peito a ser afetado até todo o músculo que apresenta essa condição.

Figura 6. Imagem de filé com SS.



Histologicamente, o músculo parece desorganizado em termos de estrutura, com uma mistura de fibras musculares muito pequenas e outras muito grandes (**Figura 7**). Há evidências de fibras musculares hipercontraídas e degeneração e regeneração ativas das fibras musculares, embora isso seja menos acentuado em comparação com o WB. Essa condição não é tão bem compreendida quanto o WB. Atualmente, a Aviagen está se empenhando para compreender melhor a SS para que possam atenuar ou minimizar sua ocorrência.

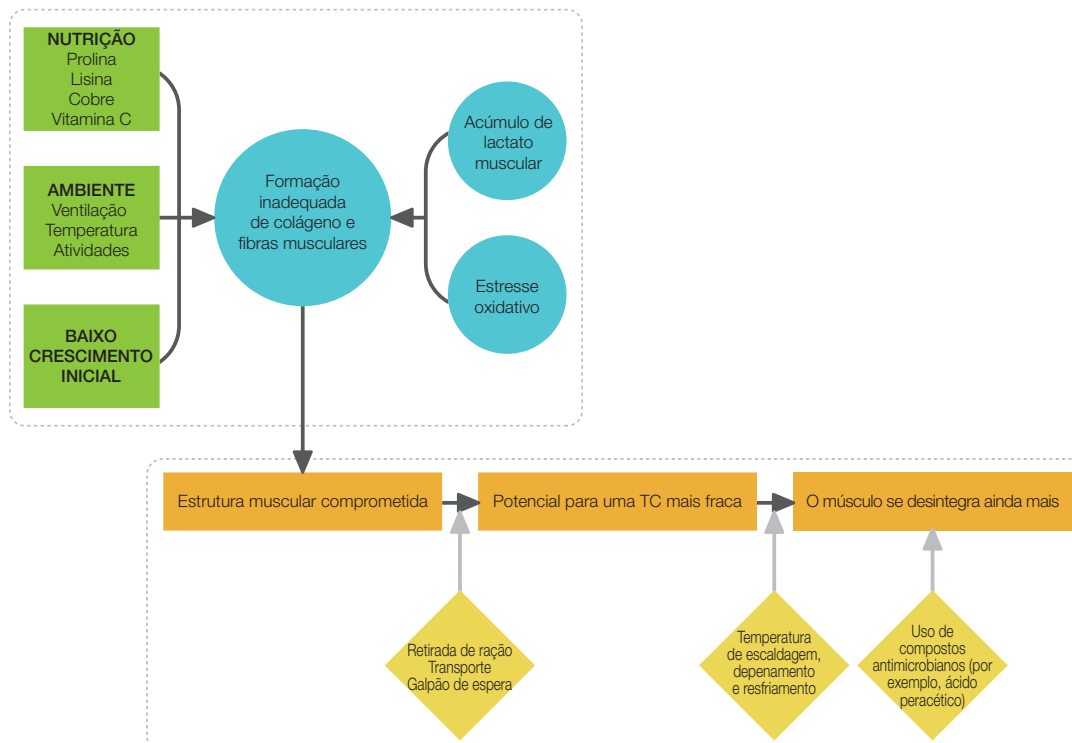
Figura 7. Histomicrografia do músculo do peito afetado pela SS. Entre as características do músculo estão as fibras musculares grandes (Lg) e as pequenas (Sm), juntamente com as fibras hipercontraídas (Hc), (100µm).



Há uma pesquisa em andamento sobre essa condição, mas acredita-se que ela esteja ligada a um aumento no acúmulo de ácido láctico no músculo, o que pode causar a degradação do tecido conjuntivo que mantém as fibras e os feixes musculares unidos. Além disso, o aumento dos níveis de ácido láctico também pode inibir a síntese de proteínas, podendo também impactar a maturação e, portanto, a integridade do tecido conjuntivo no músculo.

Uma diminuição do pH no músculo pode causar a lise das fibras musculares, o que resulta na liberação de enzimas proteolíticas no espaço extracelular. Essas enzimas podem degradar o tecido conjuntivo lábil do desenvolvimento. Uma terceira possível causa ou fator contribuinte são os níveis inadequados na ração dos aminoácidos essenciais para o bom desenvolvimento da "bainha" do tecido conjuntivo (ou seja, endomísio) que encobre as fibras musculares (por exemplo, a prolina), especialmente quando as aves são alimentadas com dietas à base de proteína vegetal. Em geral, os ingredientes de uma ração vegetal têm muito menos prolina do que uma ração com produtos de origem animal; portanto, o possível fator de risco associado aos alimentos está relacionado com dietas exclusivamente à base de vegetais. A **Figura 8** fornece informações sobre os componentes que podem desempenhar um papel no desenvolvimento da SS.

Figura 8. Fatores que contribuem para o desenvolvimento da SS.



Até o momento, a Aviagen não conseguiu identificar SS na granja imediatamente no *post-mortem*. No entanto, se as aves forem sacrificadas e deixadas para esfriar em temperatura ambiente, às vezes é possível observar o desenvolvimento de SS algumas horas depois. Isso corrobora a hipótese de que essa condição está ligada a mudanças *post-mortem* muscular e a baixa velocidade de resfriamento carcaça.

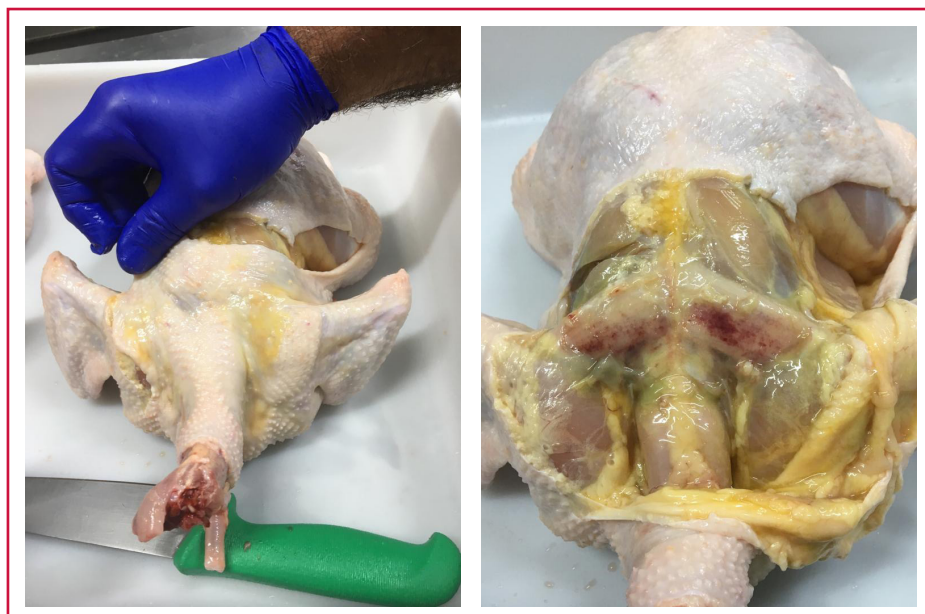
Como parte das pesquisas sobre a base biológica da carne fibrosa e esponjosa, a Aviagen quantificou o nível de hidroxiprolina presente em amostras de músculos com e sem SS. A hidroxiprolina é um componente essencial do colágeno, que dá força e integridade ao tecido conjuntivo dentro do músculo. Nossos resultados mostraram que, à medida que a gravidade da SS aumenta, observa-se uma redução no conteúdo de hidroxiprolina. Isso indica que os músculos peitorais superficiais com um conteúdo reduzido de hidroxiprolina são mais predispostos a desenvolver SS durante o processamento.

O tempo e a intensidade da depenagem foram identificados como fatores de risco para a manifestação da SS. Se as carcaças forem depenadas com muita intensidade ou por muito tempo, pode haver uma perda da integridade das fibras musculares. A temperatura de escaldagem também deve ser considerada como um fator de risco de ocorrência de SS. Quando as temperaturas da escaldadeira do depenamento são baixas, é necessário um processo de depenagem mais intenso para remover as penas, o que afetará a integridade muscular.

4.5. Miopatia dorsal cranial (dorsal cranial myopathy (DCM))

A DCM é uma condição que afeta o músculo anterior *latissimus dorsi* (ALD) dos frangos. O ALD está localizado entre a base do pescoço e a articulação da asa. Esse músculo é semelhante ao músculo trapézio dos mamíferos, e sua principal função é levantar as asas em uma posição dobrada, para que elas não se inclinem em direção ao chão quando as asas não são utilizadas. Durante a contração dos músculos peitoral superficial e profundo (supracoracóideo), a ALD é responsável por controlar o movimento do úmero. A DCM normalmente se manifesta na forma de músculos ALD claros com algumas áreas hemorrágicas e pode ser espessa, com evidências de fibrose e necrose. As lesões são geralmente bilaterais e as áreas ao redor do músculo afetado podem ser edematosas, com a possível presença de um fluido amarelo citrino (**Figura 9**).

Figura 9. Lesões em aves com DCM.



Fotos cortesia do Dr. Sarge Bilgili, Professor Emérito, Departamento de Ciências Avícolas da Universidade de Auburn

A DCM não é um fenômeno recente. Casos foram notificados pela primeira vez em 2008, mas, quando observados, foram esporádicos na incidência e geralmente sem dados ou detalhes específicos para permitir uma avaliação dos fatores causais ou determinantes. Casos de DCM foram detectados em muitas regiões do mundo, e a incidência é geralmente baixa (<1.5%). Há algumas evidências de que o risco de DCM piora com o aumento do peso corporal e que os machos têm maior incidência do que as fêmeas (Zimmermann et al., 2012).

Essa miopatia geralmente é relatada apenas na unidade de processamento, pois não é fácil detectá-la através da pele da ave viva, e também pode não ser vista durante a inspeção post-mortem de rotina. Pode ser vista normalmente em aves mais pesadas, porém tem sido especulado que o aumento da idade de processamento dê mais tempo para a lesão se desenvolver e se tornar visível. No campo não há sinais clínicos associados à DCM, o que pode dificultar a detecção no campo. A etiologia exata da DCM é desconhecida, no entanto as características histológicas sugerem hipóxia ou dano oxidativo no músculo. Há uma série de hipóteses, de uma possível miopatia associada ao exercício, semelhante à miopatia peitoral profunda, até uma miopatia nutricional ligada a uma insuficiência em antioxidantes nutricionais, como vitamina E e/ou selênio. A toxicidade dos ionóforos e do cobre também foi considerada uma possível causa para a DCM. Embora haja algumas semelhanças na apresentação histológica, não há evidências de que a DCM esteja associada a outras miopatias, como peito amadeirado ou estriações musculares.

Embora mais pesquisas sejam necessárias para compreender melhor a etiologia dessa condição, esse manual tem como objetivo fornecer uma visão geral dos conhecimentos disponíveis sobre a DCM e destacar os possíveis fatores de risco associados à incidência e gravidade no campo.

Semelhante a outras miopatias em frangos de corte, a DCM é uma questão de qualidade do produto e não representa riscos à saúde para o consumidor.

5. Impacto das BM na qualidade da alimentação

A **Tabela 1** resume os efeitos das diferentes BM na qualidade do produto e do seu uso no abatedouro. Como observado anteriormente, as BM são uma questão de qualidade alimentar, não de saúde pública. As autoridades dos EUA e do Reino Unido já afirmaram que essa não é uma questão de saúde pública, mas as BM podem requerer certo nível de rejeição, se consideradas graves. O serviço de inspeção veterinária do Reino Unido (FSAops), elaborou um padrão de condição que é uma referência útil sobre como lidar com o WB durante o processamento. Mais detalhes são fornecidos abaixo:

Tabela 1. Efeito das miopatias peitorais na qualidade do produto.

Miopia peitoral	Peito afetado	Outras partes da carcaça	Comentários
Estriações musculares (WS)	Na maioria dos casos, utilizado normalmente Casos muito graves de WS dificultam a comercialização de filés de peito	Pode ser utilizado	O alto % de gordura no peito pode alterar a quantidade de gordura na carcaça Preferência do consumidor pela carne sem estriações
Peito amadeirado (WB)	Os filés com WB grave não podem ser utilizados e devem ser convertidos em outro produto para o qual a rigidez da carne não seja um problema	Pode ser utilizado	Capacidade de retenção de água (water holding capacity (WHC)) reduzida Absorção de marinada reduzida Maior perda por gotejamento Maior perda no cozimento
Músculo espaguete (SS)	Não pode ser utilizado em produtos que exijam integridade estrutural muscular normal	Pode ser utilizado	Maior teor de umidade Difícil de filetar
Miopia peitoral profunda (DPM)	Filés de peito condenados	Na maioria dos casos, pode ser utilizada quando retirada da carne afetada	Problema quando o frango é vendido inteiro, uma vez que a miopia pode permanecer sem detecção até o consumidor cortá-la após a compra
Pálida, mole e exsudativa (PSE)	Pode ser utilizado	Pode ser utilizado	Leve preferência do consumidor sem a PSE WHC baixa Cor pálida
Escura, firme e seca (DFD)	Pode ser utilizado	Pode ser utilizado	Validade mais curta Alta WHC

5.1. Estriações musculares (WS)

Não há nenhum motivo convincente para que o consumidor não consuma peito de frango com WS. Não há evidências de agentes infecciosos na carne (Kuttappan et al., 2013b) e a única diferença importante são os teores relativamente mais altos de colágeno e gordura (Petracci et al., 2014). Apesar de afirmarem que há uma queda no valor nutricional da carne do peito com WS, devido ao aumento do teor de gordura, de até 224% (CIWF, 2016), esta afirmação precisa ser colocada em perspectiva, pois o peito de frango com WS ainda é muito baixo em gordura e rico em proteínas em comparação com outras fontes de carne (**Tabela 2**).

Tabela 2. Teor de gordura e proteína de carnes cruas.

Carne	% Gordura	% Proteína	Referência
Peito de frango (sem pele) <i>Sem estriações</i>	0,8 - 1,0	22,8 - 22,9	Petracci et al. (2014), Mudalal et al. (2014)
Peito de frango (sem pele) <i>Estriações moderadas</i>	1,5	22,2	Petracci et al. (2014), Mudalal et al. (2014)
Peito de frango (sem pele) <i>Estriações graves</i>	2,2 - 2,5	18,7 - 20,9	Petracci et al. (2014), Mudalal et al. (2014)
Costela de porco	6,9	21,5	Base de dados do USDA
Costela de cordeiro	4,9	20,4	Base de dados do USDA
Lombo bovino	6,4	21,8	Base de dados do USDA
Salmão	10,4	19,9	Base de dados do USDA

Os estudos que investigam qualidade percebida da carne do peito com WS não revelaram diferenças constantes. Kuttappan et al. (2013a) não encontraram nenhuma diferença na qualidade nutricional, enquanto outros estudos encontraram aumento da perda no cozimento e da absorção do marinado (Petracci et al, 2013; Mudalal et al., 2014, 2015).

Alguns estudos têm demonstrado uma baixa força de cisalhamento (indicando carne mais macia) nos peitos com WS graves (Petracci et al., 2013), ao passo que um estudo com um grupo de provadores (teste sensorial) não encontrou nenhuma diferença na suculência, embora os peitos com estriações musculares tenham parecido ser um pouco mais rígidos e mais difíceis de mastigar (Brambila et al., 2016). Um estudo realizado por Kuttappan et al. (2012a) mostrou que os consumidores preferem filés de peito sem WS, e a aceitação diminuiu à medida que a gravidade das WS aumentou.

No entanto, em nenhuma instância os peitos com WS foram considerados inaceitáveis.

5.2. Peito amadeirado (WB)

O WB grave (acima do score 1) mostra um aumento acentuado na textura e mastigabilidade da carne, parâmetros avaliados pelo equipamento que mede a dureza da carne (Mudalal et al, 2014; Chatterjee et al, 2016) ou por um grupo de provadores (Tasoniero et al., 2016). As amostras de miopatia com WB também tinham o pH final mais elevado, WHC baixa, absorção do marinado reduzido, maior perda por gotejamento e maior perda no cozimento (Mudalal et al, 2014; Dalle Zotte et al, 2014; Soglia et al., 2015).

Os produtores de frango com alta incidência de WB recebem muito mais reclamações dos clientes quando os peitos são utilizados em determinados produtos. Na maioria dos casos, a carne com WB é utilizada para produtos moídos ou processados, onde a rigidez não é um problema.

5.3. Peito fibroso e esponjoso (SS) ou peito espaguete

Apenas um estudo investigou o efeito do SS na qualidade da carne (Baldi et al., 2017). Esses autores mostraram que a carne SS tinha teor de umidade mais elevado e teor de proteína mais baixo do que a carne normal. No processamento, a estrutura pobre do peito com SS significa que ele só pode ser utilizado em determinados produtos e que tem um valor mais baixo no mercado.

5.4. Pálida, mole e exsudativa (PSE)

Droval et al. (2012) revelaram que os consumidores preferiram os peitos normais aos PSE, mas que o único parâmetro identificado por eles como muito diferente é o sabor. Em um estudo realizado por Desai et al. (2016), descobriu-se que a carne de peito PSE era menos macia e succulenta do que a carne de peito normal quando avaliada por um grupo de provadores. Enquanto 81% do grupo de provadores apreciaram o sabor da carne do peito normal, apenas 62% do grupo apreciaram o sabor da carne PSE.

Embora existam diferenças mensuráveis em relação à qualidade alimentar normal e os peitos com carne PSE, esse fato geralmente não é determinante para a exclusão dessa carne em certas categorias do produto.

5.5. Escura, firme e seca (DFD)

Observou-se que os filés de peito com carne DFD têm uma vida útil mais curta (Allen et al., 1997). Não há nenhuma pesquisa sobre a preferência do consumidor ou a qualidade nutricional da carne de peito DFD.

5.6. Miopatia peitoral profunda (DPM)

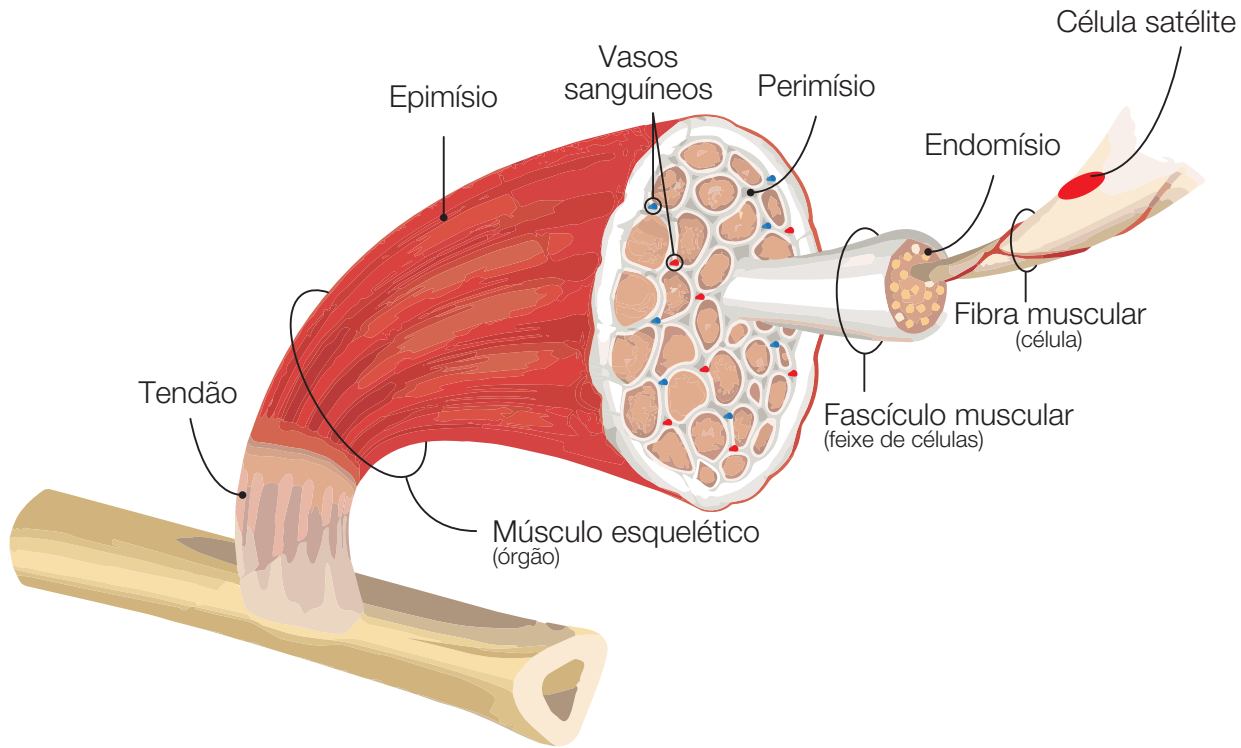
O músculo com DPM é rejeitado para consumo humano e o restante da carcaça pode ser refilado para recuperar a carne não afetada. O grande problema para as empresas avícolas é quando o consumidor que identifica a alteração.

6. Biologia muscular básica

6.1. Estrutura e função

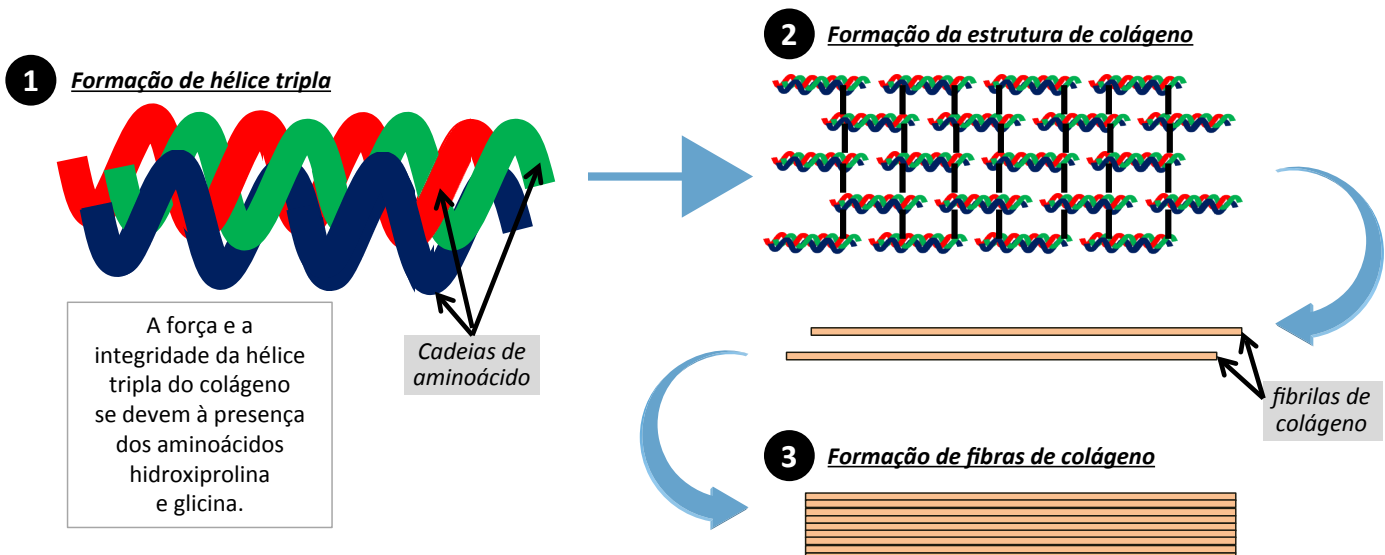
O tecido muscular é composto de 75% de água, 20% de proteína, e os 5% restantes de gorduras, carboidratos e minerais. Os músculos esqueléticos se juntam através de feixes de colágeno (tendões) aos ossos do esqueleto para possibilitar a estrutura corporal, postura, movimento e termorregulação. O músculo esquelético é composto de feixes (fascículos) de fibras musculares envolvidas por camadas de tecido conjuntivo (endomísio, perimísio e epimísio), que é composto de colágeno e outras glicoproteínas (**Figura 10**). O tecido conjuntivo é um componente importante do músculo, pois contém o suprimento de sangue aos nervos e também fornece integridade estrutural ao músculo.

Figura 10. Componentes do músculo esquelético.



A matriz do tecido conjuntivo que envolve o músculo é uma parte intrínseca da integridade geral do músculo. O principal componente estrutural das camadas do tecido conjuntivo é o colágeno, e sua força vem da estrutura e da interação das moléculas de colágeno. O colágeno é composto predominantemente pelos aminoácidos prolina, glicina, hidroxiprolina e hidroxilisina, unidos firmemente em uma hélice tripla (**Figura 11**). Essas hélices são então unidas para formar fibrilas de colágeno que, por sua vez, são ligadas para formar a fibra de colágeno.

Figura 11. Estrutura do colágeno. O colágeno é uma molécula complexa e sua estrutura central é uma hélice tripla composta por três cadeias helicoidais simples de aminoácidos firmemente entrelaçadas (1). As triplas hélices se unem em longas cadeias para formar fibrilas de colágeno (2), que se unem ainda mais para formar as fortes fibras de colágeno (3), que formam o tecido conjuntivo. A formação de hélices triplas fortes e fibrilas de colágeno robustas depende do fornecimento correto de aminoácidos na dieta, juntamente com a vitamina C, o cobre e o ferro adequados. Os processos biológicos envolvidos na formação da fibra de colágeno requerem oxigênio. Portanto, a ventilação ideal no galpão de frangos é essencial.



As fibras de colágeno podem ser unidas em longas estruturas semelhantes a cordas que correm paralelamente às fibras musculares e as mantêm unidas, formando âncoras para as fibras em intervalos regulares. Por outro lado, as fibras de colágeno podem formar folhas semelhantes a uma malha que envolvem as fibras musculares e os feixes de fibras musculares para mantê-los firmemente ligados e seguros. Portanto, a integridade do músculo depende da formação ideal de colágeno. Pesquisas mostram que vitamina C, cobre, ferro e o oxigênio, junto com o fornecimento correto dos aminoácidos, são essenciais para a formação de um colágeno estrutural forte.

As fibras musculares são compostas por filamentos de proteína de miofibrilas contráteis e grossas (miosina) e finas (actina, troponina, tropomiosina), que deslizam umas sobre as outras durante a contração muscular. A contração do músculo é desencadeada por um sinal nervoso (potencial de ação) que acaba aumentando os níveis de cálcio nas células musculares, que iniciam o movimento das miofibrilas (contração). A extensão da contração (velocidade, força e duração da tensão) é regulada pelo sistema nervoso involuntário e voluntário sobre vários feixes de fibras musculares no interior do músculo. Os músculos geralmente são dispostos de maneira oposta, para que quando um grupo de músculos se contraia, os opostos se relaxem ou se alonguem.

A contração muscular necessita de grandes quantidades de energia, no entanto, os músculos armazenam apenas a energia necessária para iniciar a contração muscular e, uma vez usada, a energia para as contrações subsequentes passará a ser gerada pelo músculo. Os músculos podem produzir energia através do metabolismo aeróbico (dependente de oxigênio) dos ácidos graxos ou pelo metabolismo anaeróbico (independente de oxigênio) da glicose. Os nutrientes para a produção de energia pelas células musculares também são provenientes do fluxo sanguíneo ou da energia armazenada no músculo (glicogênio). Em períodos de pico de atividade muscular, o oxigênio não consegue chegar à fibra muscular com rapidez suficiente para que o metabolismo aeróbico continue, e o metabolismo anaeróbico entre em ação. O produto final do metabolismo anaeróbico é o ácido láctico, que pode se acumular no músculo, reduzindo o pH e inibindo os mecanismos de contração (fadiga muscular). Durante a contração muscular, as reservas de energia são consumidas, resultando na produção excessiva de calor e ácido láctico. Depois do relaxamento, as condições no interior do músculo voltam ao seu estado normal, com a remoção do ácido láctico, a substituição das reservas de energia e a dissipação do calor.

Os músculos esqueléticos podem diferir em seu metabolismo e podem ser categorizados em geral como "vermelhos" ou aeróbicos (densos com capilares e ricos em mitocôndrias e mioglobina) e "brancos" ou anaeróbicos (poucos capilares, pouca ou nenhuma mitocôndria e mioglobina). A maioria dos músculos contém uma mistura de tipos de fibras. Os músculos peitorais (superficial ou profundo) dos frangos são compostos de fibras musculares brancas, que se contraem rapidamente, dependem principalmente do glicogênio armazenado para energia e se cansam facilmente com o acúmulo de ácido láctico. Os músculos da coxa são constituídos principalmente de fibras musculares vermelhas que se contraem lentamente, mas podem utilizar os ácidos graxos, além do glicogênio como fonte de energia, sustentando uma atividade aeróbica prolongada.

6.2. Desenvolvimento e crescimento muscular

As células musculares são formadas no embrião através do processo de miogênese; as células musculares precursoras se fundem para formar as células musculares longas, que se tornam as fibras musculares. O músculo embrionário aumenta de tamanho através da proliferação das células musculares recém-formadas, aumentando o número de fibras musculares (hiperplasia). Após a eclosão, o músculo só aumenta de tamanho através do alargamento das células musculares (hipertrofia). O crescimento da fibra muscular depende do agrupamento das células precursoras especializadas, chamadas de células satélites, que se assentam na superfície das células musculares; estas células se proliferam e se fundem nas células musculares, fornecendo DNA extra para o crescimento muscular. A nutrição inadequada dos pintinhos pode ser prejudicial para o início da proliferação das células satélites, resultando na diminuição da capacidade de crescimento do músculo ao longo da vida (Velleman et al., 2010). O crescimento das fibras musculares necessita do acréscimo de proteínas do tecido estrutural e contrátil; no entanto, as proteínas musculares contráteis limitam a vida e devem ser quebradas e resintetizadas (proteína de transferência). Em animais jovens, 20% a 25% das proteínas são degradadas e substituídas diariamente. A síntese e a degradação das proteínas são controladas por mecanismos celulares complexos e influenciadas por muitos fatores, como idade, doença, sobre e subnutrição, exercícios, inatividade, agentes genéticos, endógenos e exógenos.

6.3. Recuperação muscular

As células musculares passam por manutenção contínua como parte da função celular normal. O comprometimento da função e da estrutura muscular normal pode ocorrer fisicamente (tensão, micro-fissuras e traumas) e quimicamente (pH celular alterado ou dano oxidativo). A recuperação muscular é um processo fisiológico natural que exige ativação, proliferação e agrupamento das células satélites, envolvendo uma sequência em cascata de moléculas de sinalização, hormônios e fatores de crescimento. As células satélites se proliferam e as novas células se fundem para reparar os danos e formar novas miofibrilas. A capacidade de uma célula satélite de se dividir e se proliferar é finita, o que significa que sua atividade diminui com a idade. Por esse motivo, a incapacidade de estabelecer um número adequado dessas células no pintinho jovem pode afetar a habilidade de recuperação do músculo ao longo da vida. É importante observar que um número maior de células satélites é encontrado nas fibras musculares vermelhas em comparação com as fibras musculares brancas, uma vez que o músculo vermelho passa por mais manutenção e recuperação nas atividades diárias.

6.4. Alterações musculares pós-abate

Após a morte, há uma alteração no metabolismo intramuscular, pois o suprimento sanguíneo para o tecido muscular cessa, interrompendo o fluxo de oxigênio e de energia para o tecido e a remoção dos resíduos metabólicos. Impulsos nervosos descontrolados até o tecido muscular causam uma grande liberação de cálcio nas células musculares, ativando várias enzimas proteolíticas. Com a queda do nível de oxigênio no músculo, há uma mudança para o metabolismo anaeróbico, gerando energia proveniente do glicogênio muscular armazenado. Essa consequência, combinada com a interrupção da circulação sanguínea, resulta em acúmulo de ácido láctico no músculo, diminuindo o pH do tecido. A degradação post-mortem da estrutura muscular se deve principalmente à ativação das enzimas proteolíticas (calpaínas, calpastatina e catepsinas). A degradação da ultraestrutura muscular é um fator importante na maciez da carne após o envelhecimento, depois que o animal é abatido. A quantidade de ácido láctico produzido post-mortem depende do nível de glicogênio no músculo (influenciado pela atividade pré-abate) e a taxa de resfriamento (a produção de ácido láctico e atividade de enzimas proteolíticas só ocorrem quando as células musculares estão quentes).

6.5. Alterações fisiológicas que podem resultar em BM

As causas exatas das BM ainda não foram identificadas. Os músculos do peito de frangos de corte têm características estruturais e de desenvolvimento únicas que aumentam sua suscetibilidade ao dano celular por isquemia. A isquemia começa quando o fluxo sanguíneo local não pode satisfazer as demandas metabólicas do tecido muscular (a taxa de suprimento de oxigênio e a remoção de produtos com resíduos metabólicos, como o ácido láctico).

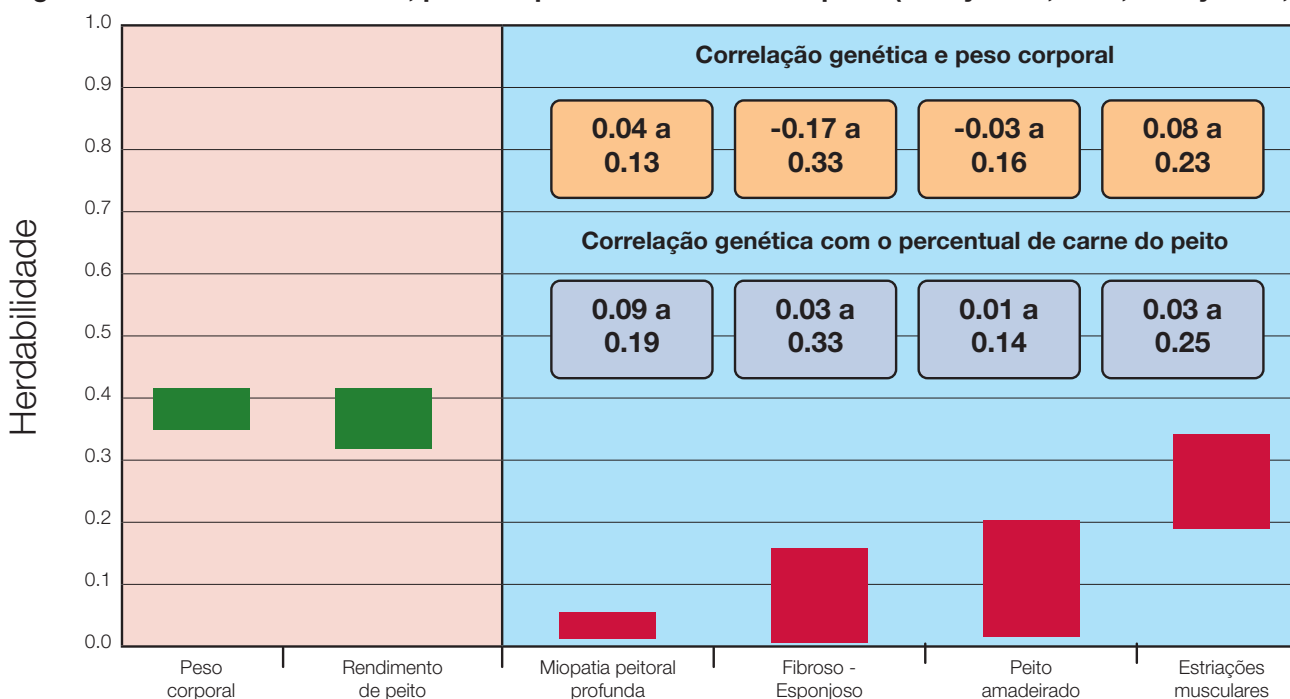
Isso pode ser especialmente crítico durante os períodos de alta atividade metabólica (por exemplo, muito esforço ou estiramento do músculo peitoral). O acúmulo de ácido láctico e a falta de oxigênio podem resultar na perda da integridade da membrana da célula muscular, o esgotamento de energia e o aumento de cálcio intracelular, levando à hipercontratilidade das células músculo-esqueléticas e, finalmente, à morte celular. Quando uma fibra muscular é danificada, os produtos da degradação resultante desencadeiam uma resposta inflamatória local e natural para a sua limpeza e reparação. O processo de recuperação muscular inclui a deposição de grandes quantidades de tecido conjuntivo. O colágeno, principal proteína do tecido conjuntivo, é inicialmente depositado como um pró-colágeno, de natureza menos estável do que o colágeno maduro com ligações cruzadas. O pró-colágeno recém-depositado é mais suscetível aos efeitos do pH e à temperatura e provavelmente apresenta mais riscos de miopatias, como a fibrosa e esponjosa.

A carga térmica (de calor exógeno ou endógeno) e o dano oxidativo podem desempenhar um papel no desenvolvimento de BM. Esses fatores podem resultar em contração prolongada, rigidez muscular e isquemia. Como resultado desse processo, as espécies reativas de oxigênio (reactive oxygen species, ROS; ânions superóxidos) aumentam. A produção de ROS causa dano oxidativo às proteínas e ao DNA no músculo. As ROS também diminuem o canal de liberação de cálcio mitocondrial e a capacidade da mitocôndria de produzir energia. A sobrecarga resultante do cálcio leva à maior produção de lactato e glicólise. Várias substâncias farmacológicas e fitogênicas (por exemplo, alguns antibióticos; timol) estimulam o estresse térmico e aumentam os níveis de ROS. Além disso, pesquisas recentes indicam que algumas populações de células satélites no músculo peitoral podem se diferenciar em adipócitos, quando submetidas a altas temperaturas (Clark et al., 2017), podendo ser importantes para o desenvolvimento da miopatia com WS.

7. Genética das BM

Os dados das pesquisas atuais publicadas indicam que miopatias podem ser observadas em várias estirpes comerciais de frangos de corte, diferenciando no rendimento do peito e na taxa de crescimento (Kuttappan et al. 2012b, c, d; Petracci et al., 2013; Shivo et al., 2013; Ferreira et al., 2014; Mudalal et al., 2015). Como parte do programa de reprodução da Aviagen, a incidência e a gravidade das miopatias foram registradas em candidatos de seleção individual, em várias linhagens, por vários anos. Através do uso desses registros, as bases genéticas das miopatias podem ser caracterizadas estimando-se a herdabilidade das miopatias e suas relações genéticas com a taxa de crescimento e rendimento do músculo peitoral (Bailey et al., 2015; Bailey et al., 2020). A gama de herdabilidade das miopatias do músculo peitoral é exibida juntamente com a herdabilidade relacionada ao rendimento de peito e peso corporal, para fins de comparação, na **Figure 12**.

Figura 12. Herdabilidade de BM, peso corporal e rendimento de peito (Bailey et al., 2015; Bailey et al., 2020).



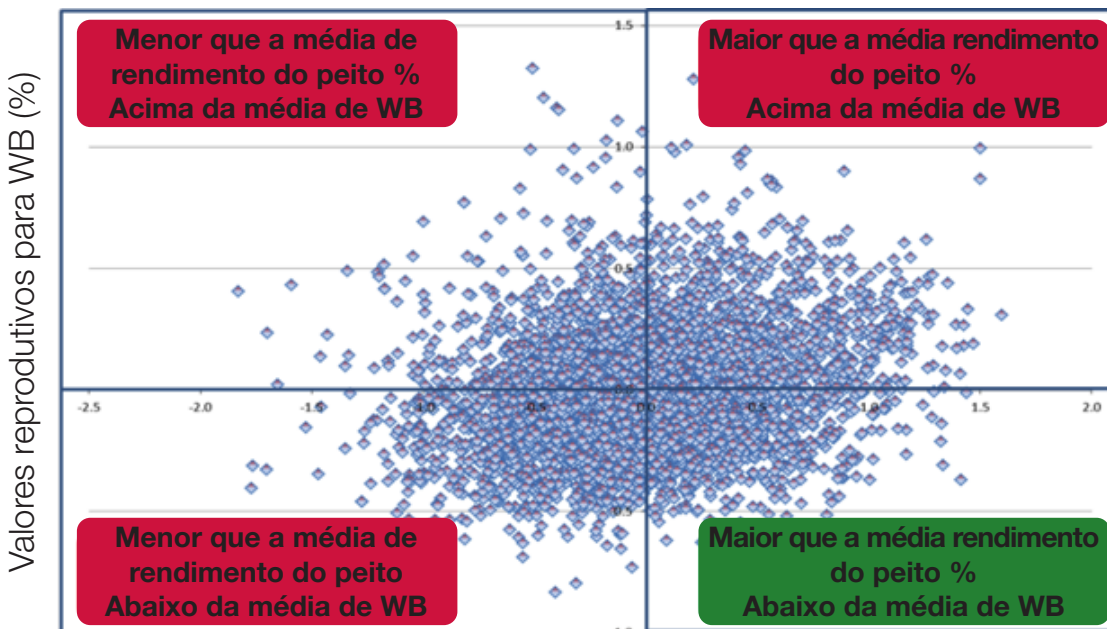
Cada característica do frango está sob o controle de fatores genéticos (transmitidos pelos pais) e fatores ambientais (manejo, nutrição, intestino e desafio imunológico, condições ambientais do aviário, clima etc.) e a soma desses efeitos pode ser observada no desempenho em campo. A herdabilidade é a proporção da variação observada na característica que é explicada através dos efeitos genéticos.

A **Figura 12** compara o intervalo das estimativas da herdabilidade do peso corporal e do rendimento do peito (barras verdes) com as de BM (barras vermelhas). Por exemplo, o peso corporal e o rendimento de peito têm herdabilidades que variam entre 0.32 e 0.42, que são mais altas do que as de BM, indicando que a influência de fatores não genéticos é muito maior nas BM. As herdabilidades para DPM, SS e WB são muito baixas, variando entre 0.02 e 0.20, o que indica que os fatores não genéticos explicam pelo menos 80% da variação nessas características. A herdabilidade para WS varia de 0.19 a 0.34. Isso mostra que há um componente genético maior para a expressão das WS em comparação com outras BM. No entanto, ainda há uma influência predominante de fatores não genéticos que são responsáveis pela variação de 66% a 81% nas WS.

A correlação genética é uma medida da base genética compartilhada por duas características; ou seja, faz a seleção genética que resulta em uma resposta genética correlacionada em outra característica. O gráfico da **Figura 12** mostra as correlações genéticas entre o peso corporal e a produção de peito com BM. Estima-se que o peso corporal tenha uma correlação genética entre -0.170-0.228 com BM, e o rendimento do peito tenha uma correlação genética entre 0.092-0.330 com BM. As baixas correlações genéticas descritas indicam que há uma ligação de baixo nível entre o aumento da rendimento da carne de peito e do peso corporal e a expressão de BM. Embora tenha sido sugerido que a incidência de BM esteja ligada à seleção genética de aves para maior rendimento de peito e maiores taxas de crescimento, nossas estimativas de correlações genéticas indicam que a seleção para essas características não significa necessariamente maior risco de BM. O gráfico de dispersão abaixo (**Figura 13**) apresenta os valores de reprodução para BM e % de rendimento do peito. Ele revela que o WB pode ocorrer em aves com percentuais altos e baixos de rendimento de peito. Pode-se observar que há uma proporção de aves com um alto potencial genético para o percentual de rendimento do peito e o WB abaixo da média no quadrante inferior direito do gráfico.

Essa proporção representa as aves que podem ser selecionadas para as duas características, na direção desejada, como parte de uma estratégia de reprodução equilibrada. A Aviagen continua a abordar as BM como parte de um programa de reprodução equilibrado, com o objetivo de reduzir a propensão genética, a fim de expressar as BM em campo. Considerando a base genética relativamente baixa de BM, a seleção genética produzirá melhorias pequenas a moderadas na expressão de BM. Está claro que a chave para reduzir a manifestação de BM será uma melhor compreensão dos efeitos dos fatores ambientais, como manejo ou nutrição, sobre sua manifestação. Necessita-se de mais pesquisa sobre os fatores não genéticos e seu impacto nas BM.

Figura 13. Gráfico de dispersão mostrando os valores de reprodução para WB e percentual de rendimento da carne do peito (BR%).



7.1. Estudos de expressão gênica

Um método para compreender os mecanismos celulares envolvidos no desenvolvimento das condições WB envolve o estudo da expressão gênica. Nas aves com WB, esse método determina se os genes estão regulados de forma ascendente ou descendente nas aves afetadas em comparação com as aves não afetadas (ou seja, são algumas vias biológicas mais ou menos ativas). Existem vários estudos sobre a expressão gênica que mostram as alterações na expressão gênica em aves com WB em comparação com aves sem essa condição (Mutryn et al, 2015; Zambonelli et al., 2016).

Os resultados desses estudos mostram que os músculos com miopatias têm um aumento da expressão de muitos genes associados aos processos metabólicos (hipóxia, estresse oxidativo, metabolismo do cálcio, metabolismo da gordura, inflamação), anatômicos e processos estruturais e biológicos. Esses processos celulares confirmam o que é visto no exame histopatológico dos músculos com miopatias, fibrose, infiltração de células imunológicas, hipóxia, deposição de gordura e degeneração e reparo das fibras musculares. O trabalho de nossa colaboradora, a Dra. Sandra Velleman (Ohio State University), indica que o músculo peitoral com WB uma maior expressão de genes ligados à proliferação e diferenciação de células satélites, que são indicativos de crescimento e recuperação muscular ativos (Velleman, comunicação pessoal). Além disso, essa pesquisa mostrou o aumento da expressão dos genes envolvidos no alinhamento do colágeno e na ligação cruzada, resultando em uma estrutura muscular mais rígida.

Através do estudo da expressão gênica, podemos compreender melhor a fisiopatologia das miopatias; no entanto, devemos observar que elas não oferecem necessariamente uma explicação de causa e efeito (ou seja, esses resultados podem demonstrar causas e efeitos ou simplesmente consequências associadas à presença da miopatia). Embora as abordagens moleculares para compreender a fisiopatologia tenham revelado diferenças em muitas vias metabólicas, não é viável incorporar todas essas interações em um programa de reprodução prática, devido à natureza complexa dessas vias. Entretanto, os efeitos de todos os genes subjacentes identificados nos estudos de expressão gênica podem ser capturados pela identificação de aves com BM. As informações sobre a base genética e as correlações genéticas das BM com outras características podem então ser incluídas como parte de uma meta de reprodução balanceada, conforme descrito acima.

7.2. Estudos metabólicos e proteômicos

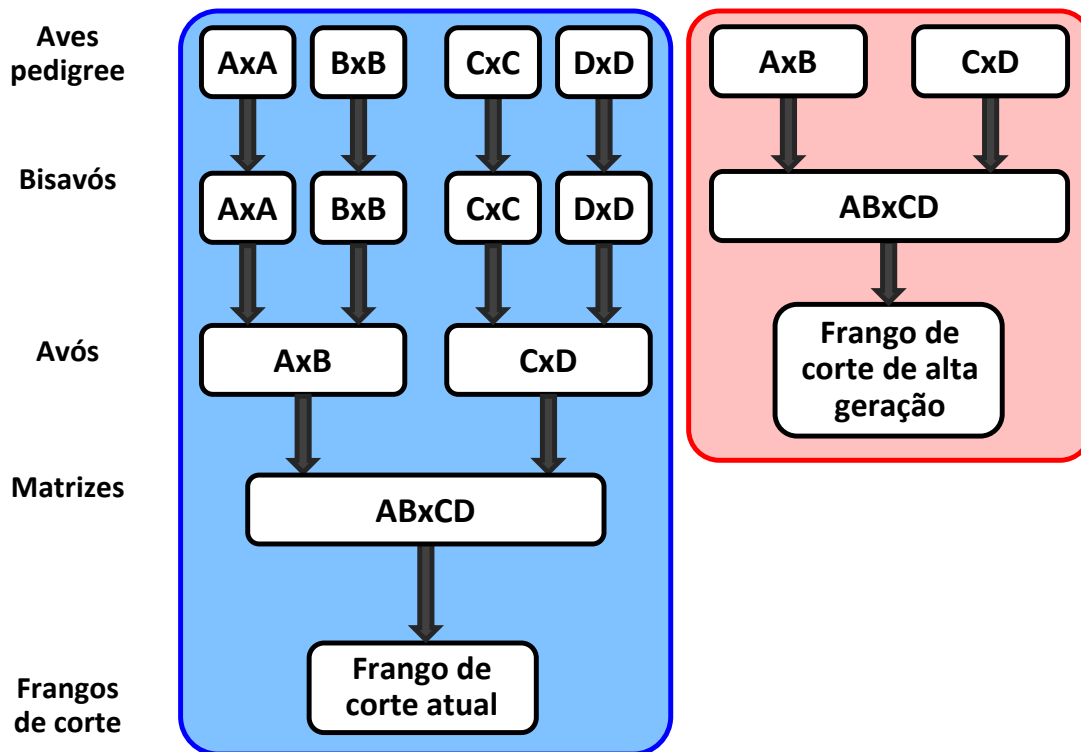
Novas pesquisas para compreender os mecanismos básicos das BM incluem o uso da metabolômica e proteômica para caracterizar as diferenças fisiológicas e celulares nos peitos com e sem miopatias. Kuttappan et al. (2017) mostraram, através do uso da proteômica, que os filés com peito amadeirado apresentam diferenças significativas nas proteínas relacionadas com o movimento celular, metabolismo dos carboidratos, síntese de proteínas e maturação de proteínas em comparação com os músculos sem WB. Boerboom et al. (2018) analisaram os filés com e sem WS através da metabolômica para identificar as vias biológicas que podem explicar a ocorrência do WS. Foram encontradas diferenças significativas no metabolismo dos carboidratos e na composição dos ácidos graxos dos filés com WS em comparação com os filés sem WS e também não houve evidência de hipóxia e estresse oxidativo nos filés afetados. Os resultados das análises metabolômica e proteômica estão em conformidade com as descobertas dos estudos de expressão gênica mencionados anteriormente. Esses estudos mostram as diferenças na composição e na fisiologia dos filés com miopatia, como se espera, pois a análise histológica revela evidências das alterações bioquímicas e estruturais nas BM. Embora esses estudos mostrem o que ocorre no interior do tecido muscular no momento da amostragem e permitam a especulação sobre as possíveis causas das miopatias, ainda não se sabe com certeza o que causa a ruptura inicial nos tecidos, sendo necessárias mais pesquisas sobre o assunto.

7.3. Estudos de alta geração genética

Como parte dos esforços contínuos da Aviagen para reduzir a propensão genética para WB, há uma avaliação contínua dos candidatos à seleção e uma avaliação das carcaças dos irmãos quanto à presença e à gravidade do WB. Essas informações permitem a previsão de valores de reprodução para a propensão genética de desenvolver WB; as aves com propensão genética reduzida de desenvolver WB são elegíveis para sucessão no programa de reprodução.

Para demonstrar empiricamente o impacto da seleção genética na incidência de WB, a Aviagen gerou um frango de corte de "alta geração" (high generation, HG), rastreando rapidamente a geração de matrizes a partir do acasalamento de aves da geração de bisavós (GGP), conforme descrito na **Figura 14**.

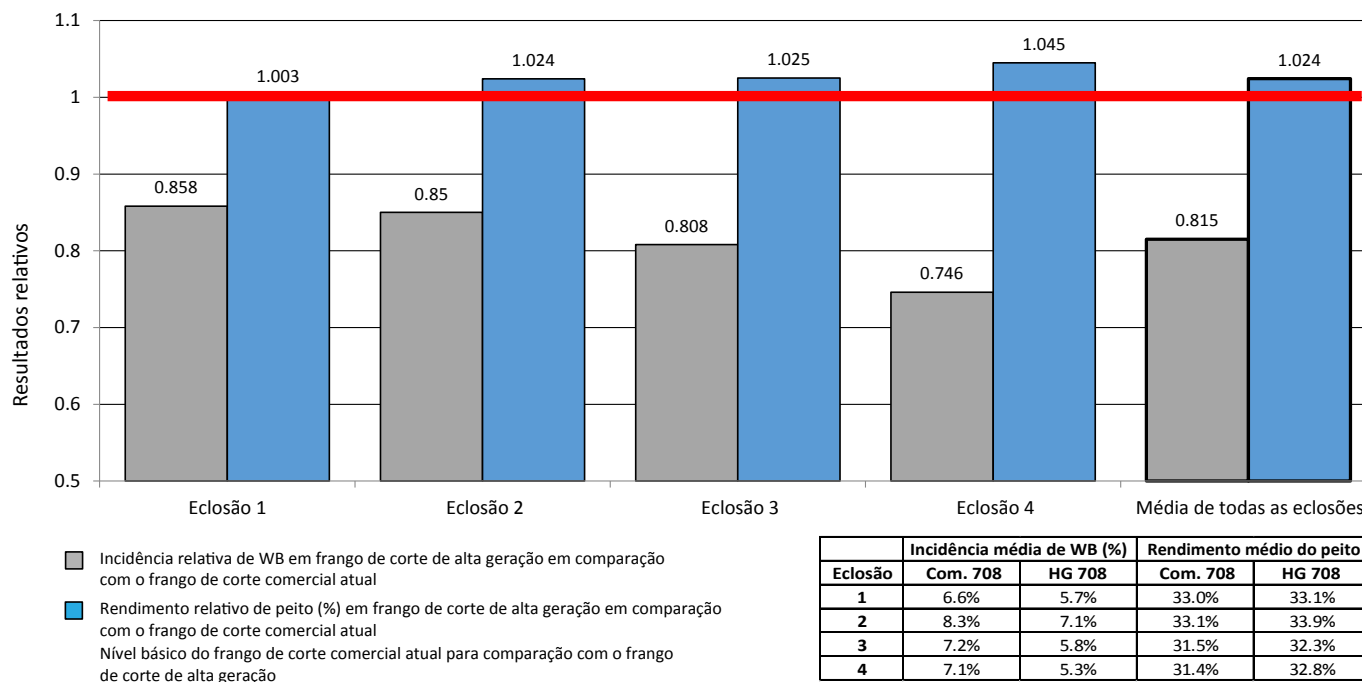
Figura 14. Desenvolvimento de frangos de corte de HG.



Em seguida, o impacto da seleção genética contra a propensão genética para WB foi avaliado comparando o desempenho da HG e do atual frango de corte comercial. Neste estudo, os ovos para eclosão de frangos de corte comerciais Ross® 708 foram incubados ao lado de ovos para eclosão de frangos de corte Ross 708 de HG, segundo as recomendações da Aviagen. Os pintinhos de ambos os grupos foram criados lado a lado em boxes separados como frangos de corte comerciais, de acordo com o **Manual de Manejo de Frangos de Corte**. Foram colocadas quatro nascimentos consecutivos, e uma amostra das aves de cada grupo, comercial e frango de corte de HG, que foram enviadas para processamento. Os ovos para eclosão de frangos de corte de HG originados do mesmo plantel de matrizes para cada uma dos quatro nascimentos consecutivos, enquanto os ovos para eclosão de frangos de corte comerciais foram obtidos a partir de plantéis comerciais de campo, com idades semelhantes. PS para frangos de corte comerciais e de HG receberam alimento da mesma fábrica de ração, e os mesmos parâmetros de manejo foram usados durante a recria e produção de acordo com o **Manual de Manejo de Matrizes**. Aves de ambas as populações foram processadas; o rendimento do peito foi medido e as aves foram avaliadas quanto à presença de WB.

Em cada nascimento, uma redução na incidência relativa de WB pode ser observada no frango de corte de HG em comparação com o atual frango de corte comercial (**Figura 15**). Simultaneamente, houve um aumento relativo do rendimento do peito visto no frango de corte de HG em cada nascimento em comparação com o atual frango de corte comercial. Em geral, os frangos de corte da geração superior tiveram, em média, 18,4% a menos de WB ($p < 0.001$) e 2,4% mais rendimento de peito ($p < 0,03$) do que os atuais frangos comerciais. Esses resultados demonstram que a seleção do aumento da carne do peito nos frangos de corte pode ser alcançada ao mesmo tempo em que se seleciona com base na propensão genética para desenvolver BM, como WB. A diferença entre as gerações dos frangos de corte comerciais e de HG utilizados neste estudo representa dois anos. Uma redução relativa anual percebida de WB de 9,2% e um aumento relativo anual percebido de 1,2% no rendimento do peito refutam a teoria de que o aumento deste influencia diretamente e aumenta a incidência de WB.

Figura 15. Incidência de WB em frangos de corte de HG x frangos de corte comerciais atuais.



8. Curva de crescimento e BM

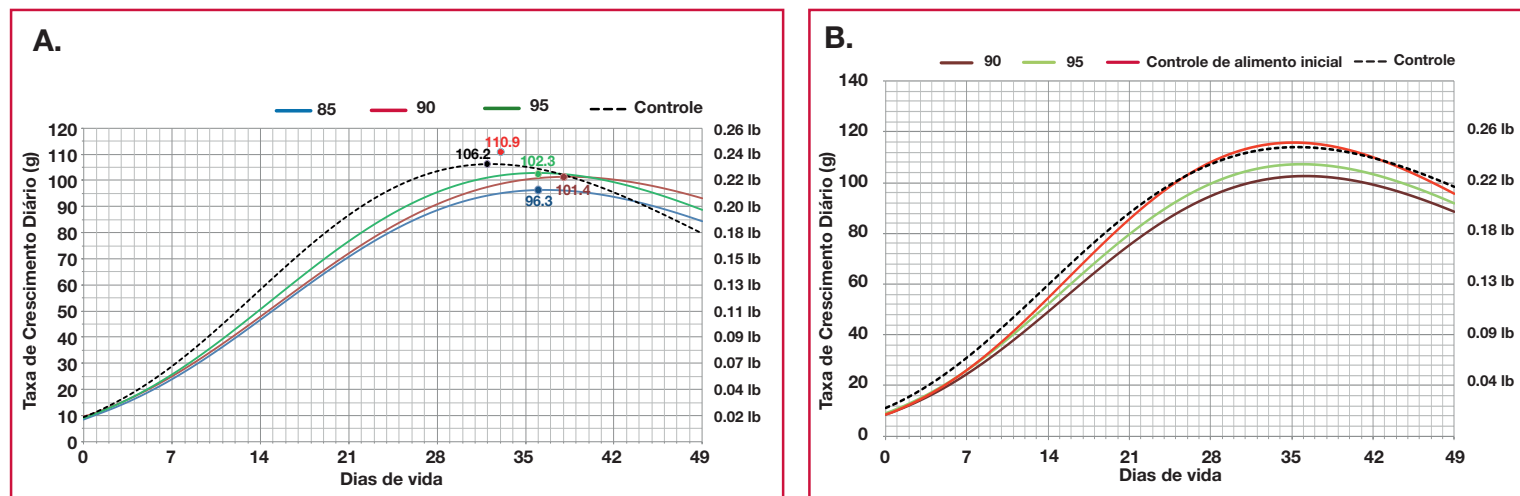
Como parte do trabalho investigativo inicial, observações de campo na Europa Ocidental sugeriram que a aceleração repentina do crescimento, como que ocorre nos casos de "desbaste" (que é a prática de retirada antecipada de uma parte do lote de frango para o abate, que resulta em um aumento de espaço para as aves, aumento de espaço de comedouros e bebedouros para as aves que ficam no aviário. Prática também chamada de "thinning"), aumentavam a incidência e a gravidade do WB. Na mesma época, vários consumidores, acadêmicos e representantes dos meios de comunicação curiosamente atribuíram as BM à taxa de crescimento rápido dos frangos de corte modernos.

Diante da indisponibilidade de evidências científicas para apoiar ou refutar essa afirmação, a Aviagen e a Universidade de Auburn iniciaram um projeto colaborativo de pesquisa de doutorado para entender melhor o impacto da curva de crescimento dos frangos de corte e suas alterações em relação à incidência e à gravidade das BM.

8.1. Modificação do crescimento através do controle alimentar quantitativo

O efeito de controlar o consumo de alimento e, assim, modificar a curva de crescimento na incidência de BM em frangos de corte do sexo masculino com alto rendimento (Ross 708) foi avaliado em dois estudos (Meloche et al., 2018a; estudo interno da Aviagen). Nesses estudos, os pintinhos foram alimentados *ad libitum* ou 80% a 95% *ad libitum* durante todo o período de crescimento. Em ambos os estudos, as aves tratadas com alimentação controlada tiveram menor peso corporal na idade do processamento final e uma redução na incidência de WB e de WS (**Tabela 3, Figura 16**). Meloche et al. (2018a) concluíram que controlar a alimentação *ad libitum* em 95% durante toda a vida reduziria consideravelmente a ocorrência de BM mas não apresentaria nenhuma melhoria estatisticamente significativa além desse nível de controle alimentar quantitativo, resultados que foram comprovados pelas conclusões do estudo interno da Aviagen. Em todos os casos, o peso corporal no processamento final foi reduzido, e no estudo interno da Aviagen, a conversão alimentar também aumentou quando o consumo de alimento foi controlado (**Tabela 3**).

Figura 16. O efeito do controle alimentar quantitativo na taxa de crescimento diária em (a) Meloche et al. (2018a) e (b) estudo interno da Aviagen.



Meloche et al. (2018a) também registraram os níveis de creatina quinase (CK) e desidrogenase láctica (LDH); essas duas enzimas são indicadores gerais de dano muscular e celular. Em comparação com as aves alimentadas *ad libitum*, os níveis plasmáticos de LDH e CK reduziram nas aves com a ingestão da ração em 95%, 90% ou 85%. Embora várias isoformas de CK sejam expressas em vários tecidos, a principal isoforma presente no plasma dos frangos vem do músculo esquelético. A CK do plasma foi utilizada anteriormente como um indicador da integridade da membrana comprometida na presença de miopatias. Os níveis elevados de CK no sangue são indicativos de lesão muscular. A LDH é outra enzima intracelular que catalisa a conversão de piruvato para lactato – uma via chave no tecido muscular glicolítico, como é o caso do músculo do peito de frango. A LDH é liberada na corrente sanguínea quando as células são danificadas ou destruídas. Dessa forma, ambas as enzimas podem ser usadas como indicadores gerais de dano tecidual e celular.

Estudos também têm investigado a alimentação controlada através da curva de crescimento. Trocino et al. (2015) constataram um aumento de estriações musculares WS e nenhuma mudança no peito amadeirado quando os frangos de corte foram alimentados com controle de 80% de *ad libitum* entre 13 e 21 dias e processados aos 46 dias. Da mesma forma, a alimentação *ad libitum* em 95%, de 0 a 11 dias, não teve efeito no peso vivo final ou no WB e nas WS (Tabela 3, estudo interno da Aviagen). Esses estudos sugerem que controlar o consumo alimentar para apenas parte do período de crescimento (0 a 11 dias) não é tão eficaz para o controle de BM como seria a redução do consumo para todo o período de crescimento.

Esses estudos mostraram que é possível reduzir a incidência de WS e WB através da modificação da curva de crescimento. Em granjas que contam com equipamentos que podem medir e controlar o consumo de ração, esse pode ser um dos métodos para reduzir a incidência de BM, embora tenha de ser equilibrado com a perda no desempenho dos frangos de corte, se a alimentação controlada for aplicada em toda a curva de crescimento. Conforme observado na **Seção 8.3**, talvez seja possível controlar a alimentação por um período específico, a fim de reduzir as BM sem afetar negativamente o desempenho dos frangos de corte. Alguns produtores reduziram com êxito a incidência de WB, diminuindo o consumo alimentar *ad libitum* em 97% através desse método. No entanto, a maioria das granjas não tem o equipamento para controlar a alimentação dos frangos de corte e é necessário usar métodos alternativos para controlar a curva de crescimento.

Tabela 3. Resumo dos estudos sobre alimentação controlada¹.

Estudo	Idade de Processamento (d)	Tratamento	Score do WB ²	Score das WS ²	PC kg (lbs)	Conversão alimentar	Ajuste de conversão alimentar para 3.5kg/7.7lbs ^{3,4}
Meloche et al. (2018a)	33	Controle <i>ad libitum</i> 95% <i>ad libitum</i> 90% <i>ad libitum</i> 80% <i>ad libitum</i>	0.643 0.107 0.143 0.107	0.786 0.500 0.429 0.250			
		Linear ⁵ Quadrático	p < 0.001 p = 0.01	p < 0.01 ns			
	43	Controle <i>ad libitum</i> 95% <i>ad libitum</i> 90% <i>ad libitum</i> 80% <i>ad libitum</i>	1.593 0.536 0.107 0.143	1.851 1.321 1.000 0.964			
	Linear Quadrático	p < 0.001 p < 0.001	p < 0.001 p = 0.03				
	50	Controle <i>ad libitum</i> 95% <i>ad libitum</i> 90% <i>ad libitum</i> 80% <i>ad libitum</i>	0.702 0.393 0.143 0.143	1.593 0.857 1.071 0.821	3.748 (8.26) 3.579 (7.89) 3.516 (7.75) 3.347 (7.38)	1.823 1.785 1.725 1.714	1.740 1.741 1.712 1.740
		Linear Quadrático	p < 0.001 ns	p < 0.001 p = 0.01	ns ns	p < 0.001 ns	
	Idade de Processamento (d)	Tratamento	Score do WB	Score das WS	Dias para atingir 3.35kg/7.39lbs	Conversão alimentar	Ajustes da conversão alimentar para 3.35 kg/7.39 lbs ³
Estudo Interno da Aviagen	32	Controle <i>ad libitum</i> 95% <i>ad libitum</i> 90% <i>ad libitum</i> 95% <i>ad libitum</i> somente até o dia 11	0.05 0.00 0.00 0.00	0.00 0.14 0.08 0.20			
			ns	ns			
	49	Controle <i>ad libitum</i> 95% <i>ad libitum</i> 90% <i>ad libitum</i> 95% <i>ad libitum</i> somente até o dia 11	0.23 0.13 0.10 0.27	0.74 0.50 0.44 0.61	43.6 46.4 48.2 44.4		1.548 1.658 1.675 1.516
			p < 0.05	p < 0.001			

1. Peso corporal e conversão alimentar informados apenas na idade do processamento final. O rendimento de carne do peito não foi informado.
2. Os filés de peito receberam score pela presença de miopatia 0 (nenhuma), 1 (leve) ou 2 (grave). A pontuação da miopatia é a média para todos os filés avaliados.
3. Conversão alimentar ajustada: Conversão alimentar ajustada ao peso declarado.
4. Conversão alimentar ajustada e calculada a partir dos dados fornecidos em Meloche et al. (2018a).
5. A análise estatística realizada pelos autores testou as alterações lineares e quadráticas com a redução do consumo de alimento.

8.2. Modificação do crescimento através da manipulação qualitativa da densidade da dieta

Ficou evidente nos dois primeiros estudos que o controle quantitativo do consumo de alimento pode ser usado de forma eficaz para modificar a curva de crescimento dos frangos de corte e reduzir a incidência e a gravidade da BM. Entretanto, em algumas regiões do mundo, pode não ser possível controlar quantitativamente o alimento com precisão devido à falta de equipamentos de pesagem (precisos). Outra abordagem prática para modificar a curva de crescimento é reduzir a alocação dos nutrientes da dieta qualitativamente através da manipulação de aminoácidos e da densidade energética da dieta.

Dois estudos investigaram se a redução da densidade dos nutrientes da dieta poderia reduzir o consumo dos nutrientes, modificar a curva de crescimento e, assim, afetar a incidência de BM (Meloche et al., 2018b, estudo interno da Aviagen). Estudos anteriores da Aviagen mostraram que os frangos de corte poderiam ajustar seu consumo voluntário de alimento para compensar aproximadamente 5% na redução da densidade dos nutrientes da dieta, mas em ambos os estudos, contrariando as expectativas, os frangos de corte de genótipos predominantes puderam compensar uma redução de 10% de energia através de um maior consumo de alimentos, obtendo o mesmo peso corporal final (**Tabela 4**). Como consequência, a curva de crescimento dos frangos de corte não foi modificada com sucesso e houve diferenças muito pequenas no que tange a BM entre os diversos tratamentos.

Não houve evidência de que a redução da densidade de nutrientes da dieta tenha reduzido a incidência de WB ou WS, o que foi consistente nos dois experimentos (**Tabela 4**). De fato, a redução da densidade de nutrientes da dieta entre 8 e 14 dias e entre 8 e 25 dias (Meloche et al., 2018b, experimento 1) e 0 a 11 dias e 0 a 28 dias (estudo interno da Aviagen) aumentou a incidência de WB ou WS, corroborando a observação de que a nutrição precoce deficiente pode aumentar o risco de ocorrência de BM (**Seção 10.2**). Concluiu-se que a redução da densidade nutricional da dieta não foi um método eficaz para reduzir a BM.

Tabela 4. Resumo dos estudos sobre a densidade do alimento¹.

Estudo	Experimento	Densidade da dieta	Idade de Processamento (d)	WB grave %	WS graves %	PC kg (lbs)	Conversão alimentar	Rendimento de carne do peito (%)
Meloche et al. (2018b) ³	1	100, 100, 100	35	18.2 ^{bc}	31.6	3.162 (6.97)	1.582 ^b	23.72 ^b
		95, 100, 100		32.9 ^a	41.3	3.183 (7.02)	1.586 ^b	23.91 ^{ab}
		95, 95, 100		30.4 ^{ab}	31.7	3.171 (6.99)	1.605 ^b	23.96 ^{ab}
		95, 95, 95		18.6 ^{bc}	28.8	3.124 (6.89)	1.646 ^{ab}	23.99 ^{ab}
		90, 100, 100		34.7 ^a	41.2	3.140 (6.92)	1.582 ^b	23.89 ^{ab}
		90, 90, 100		24.8 ^{abc}	26.2	3.176 (7.00)	1.622 ^b	24.14 ^{ab}
		90, 90, 90		26.8 ^{abc}	34.5	3.132 (6.90)	1.698 ^a	24.34 ^a
	2	100, 100, 100, 100	43	36.5 ^a	64.5 ^a	3.792 (8.36)	1.675 ^c	26.43 ^b
		95, 100, 100, 100		26.1 ^{ab}	55.9 ^{ab}	3.827 (8.44)	1.684 ^c	26.65 ^b
		95, 95, 100, 100		37.7 ^a	59.0 ^{ab}	3.766 (8.30)	1.715 ^{bc}	26.39 ^b
		95, 95, 95, 95		39.3 ^a	62.0 ^a	3.777 (8.33)	1.749 ^{ab}	26.35 ^b
		90, 100, 100, 100		29.9 ^{ab}	45.3 ^{ab}	3.772 (8.32)	1.701 ^{bc}	27.36 ^a
		90, 90, 100, 100		38.9 ^a	50.3 ^{ab}	3.798 (8.37)	1.730 ^{bc}	26.46 ^b
		90, 90, 90, 90		20.8 ^b	42.3 ^b	3.789 (8.35)	1.806 ^a	26.58 ^b
			Pontuação do WB⁵	Pontuação das WS⁵				
Estudo Interno da Aviagen ⁴		100, 100, 100, 100,	62	0.55 ^{de}	0.89 ^{ef}	3.960 (8.73)	2.112 ^c	
		100, 90, 100, 100, 100,		0.85 ^{abc}	1.21 ^{abc}	4.157 (9.16)	2.093 ^c	
		100, 90, 90, 100, 100,		1.04 ^a	1.37 ^a	4.191 (9.24)	2.116 ^c	
		100, 90, 90, 90, 100,		0.63 ^{cde}	0.77 ^f	4.124 (9.09)	2.197 ^b	
		100, 90, 90, 90, 90,		0.68 ^{cde}	0.95 ^{ef}	4.181 (9.22)	2.232 ^{ab}	
		100, 100, 90, 100, 100,		0.96 ^{ab}	1.19 ^{abcd}	4.139 (9.12)	2.136 ^c	
		100, 100, 90, 90, 100,		0.69 ^{cde}	0.93 ^{ef}	3.993 (8.80)	2.217 ^{ab}	
		100, 100, 90, 90, 90,		0.75 ^{bcde}	0.98 ^{cdef}	4.122 (9.09)	2.260 ^a	
		100, 100, 100, 90, 100,		0.53 ^e	1.06 ^{bcde}	3.950 (8.71)	2.200 ^b	
		100, 100, 100, 90, 90,		0.77 ^{bcd}	0.97 ^{def}	4.076 (8.99)	2.229 ^{ab}	
		100, 100, 100, 100, 90,		0.57 ^{de}	0.97 ^{def}	4.223 (9.31)	2.115 ^c	
		100, 90, 90, 90, 90, 90		0.94 ^{ab}	1.24 ^{ab}	4.339 (9.57)	2.260 ^a	

1. As aves receberam as dietas recomendadas pela Aviagen (100%) ou todos os nutrientes foram reduzidos em 95% ou 90%, segundo as recomendações da Aviagen.

2. Os resultados em um box com o mesmo índice não são significativamente diferentes em $p < 0.05$. Se nenhum índice for mostrado, não houve diferenças importantes.

3. Os períodos de alimentação foram de 8 a 14, 15 a 25, 26 a 42 e 43 a 48 dias.

4. Os períodos de alimentação foram de 0 a 11, 12 a 28, 29 a 40, 41 a 48 e 49 a 62 dias.

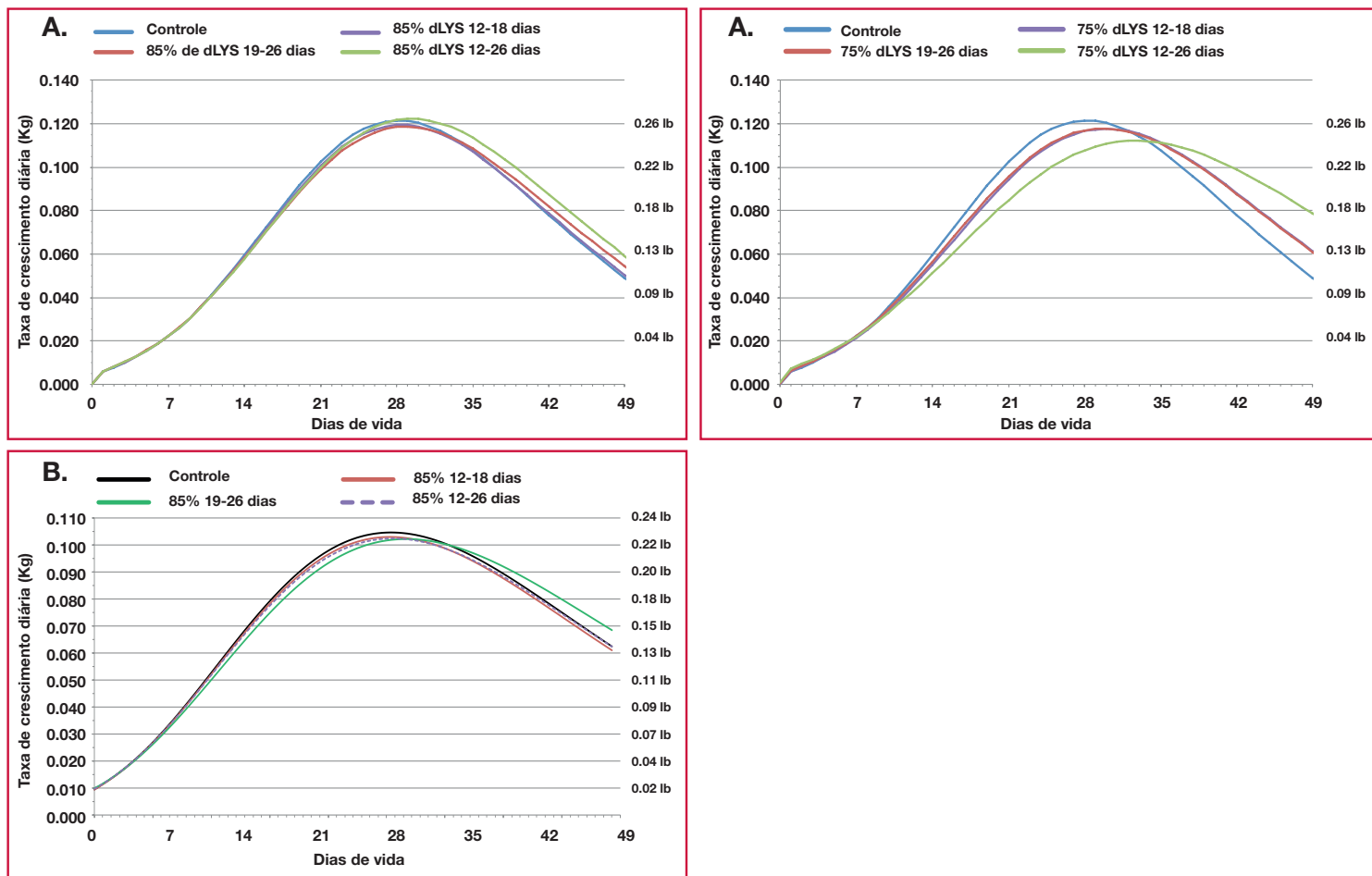
5. Os filés de peito foram marcados com a presença de miopatia 0 (nenhuma), 1 (leve), 2 (moderada) ou 3 (grave). A pontuação de miopatia é a pontuação média de todos os filés avaliados.

8.3. Ajustes na lisina

Para ser mais eficaz, uma abordagem qualitativa para o controle alimentar não deve resultar no aumento do consumo voluntário de alimento para compensar a mudança na densidade dos nutrientes da dieta dos frangos de corte. Uma abordagem viável é a redução da concentração dietética de um único aminoácido essencial. Se um aminoácido estiver presente em níveis elevados no músculo peitoral, por definição, o crescimento deverá ser reduzido quando houver um consumo inadequado desse aminoácido para maximizar o crescimento. Também é importante que o aminoácido selecionado não seja essencial para o desenvolvimento das penas, caso contrário, outro possível problema será criado devido ao comprometimento do empenamento. A lisina digestível (digestible lysine, dLYS) é, portanto, um candidato ideal, já que o frango é incapaz de reconhecer uma mudança no nível de dLYS na dieta e ajustar o seu consumo de alimento. A lisina representa ~ 7% do teor de aminoácidos na proteína da carcaça sem penas, mas apenas ~ 2% do teor de aminoácidos encontrados nas penas. Além disso, a lisina destinada aos alimentos é comumente complementada nas dietas das aves e pode, portanto, ser facilmente removida da dieta na fábrica de ração.

Meloche et al. (2018c, d) mostraram que reduzir apenas os níveis de dLYS da dieta abaixo das recomendações da Aviagen poderia alterar a curva de crescimento (**Figura 17**) e reduzir significativamente a incidência e a gravidade do WB e das WS (**Tabela 5**). Na idade do processamento inicial (41 a 48 dias), uma redução de 75% do conteúdo de lisina digestível nas dietas fornecidas entre 12 a 26 dias reduziu a incidência de WB e WS graves, embora também houvesse redução significativa no rendimento de carne do peito (Meloche et al., 2018c, d), redução no peso corporal e aumento na conversão alimentar (Meloche et al., 2018 d). Os frangos de corte abatidos em idade mais avançada (61 dias), com tempo de recuperação suficiente, tiveram uma redução significativa do peito amadeirado e das estriações musculares, quando foi utilizada uma redução de 85% na dLYS, sem afetar consideravelmente o desempenho dos frangos de corte, o que não foi observado com a idade de processamento anterior (Meloche et al., 2018c).

Figura 17. O efeito da diminuição da dLYS na taxa de crescimento diária (Meloche et al., 2018c: a. experimento 1; b. experimento 2).



Para comprovar as observações dos estudos e pesquisas, a Aviagen, em colaboração com um cliente, conduziu um estudo de campo em grande escala usando a diminuição de 85% de dLYS nas dietas fornecidas entre 15 a 32 dias para frangos de corte de ambos os sexos que foram processados aos 58 dias (**Tabela 5**). A incidência de WB e WS foi muito baixa entre as fêmeas e não foi observada nenhuma diferença na mesma. Os machos mostraram incidência muito maior de WB grave no grupo de controle (11.6%) e a incidência no grupo com tratamento de dLYS foi consideravelmente reduzida para ~ 55% do controle. Nos dois sexos, o tratamento com dLYS não reduziu consideravelmente o desempenho dos frangos de corte nem o rendimento no processamento (**Tabela 5**).

Tabela 5. Resumo dos estudos envolvendo a redução de lisina

Estudo	Experimento	Tratamento ¹	Idade de Processamento (d)	WB ² grave %	WS ² graves %	Peso médio KG (lbs)	Conversão alimentar	Rendimento de carne do peito (%)
Meloche et al. (2018c)	1	Controle	48	36.6 ^a	64.3 ^a	3.594 (7.92)	1.599	27.3
		85% 12-18 dias		26.1 ^{ab}	55.9 ^{ab}	3.566 (7.86)	1.600	27.3
		85% 19-26 dias		37.7 ^a	59.2 ^{ab}	3.585 (7.90)	1.572	27.2
		85% 12-26 dias		39.3 ^a	62.0 ^a	3.629 (8.00)	1.589	27.4
		75% 12-18 dias		29.9 ^{ab}	45.6 ^{ab}	3.581 (7.89)	1.579	26.8
		75% 19-26 dias		38.9 ^a	50.4 ^{ab}	3.606 (7.95)	1.610	27.1
		75% 12-26 dias	20.8 ^b	42.3 ^b	3.536 (7.80)	1.609	26.3	
							1.609	p = 0.003
Meloche et al. (2018d)	1	Controle	41	58.6 ^a		3.028 (6.68)a	1.494 ^a	25.2 ^a
		75% 15-25 dias		19.7 ^b		2.848 (6.28)b	1.532 ^b	23.7 ^b
	2	Controle	43	50.0 ^a		3.543 (7.81)	1.590 ^a	
		75% 15-25 dias		21.7 ^b		3.481 (7.67)	1.699 ^b	
Estudo comercial	Fêmeas	Controle	58	0.4	0.9	3.508 (7.73)		29.25
		85% 15-32 dias		0.4	0.0	3.576 (7.88)		29.59
	Machos	Controle	58	11.6 ^a	3.8	4.473 (9.86)		28.72
		85% 15-32 dias		6.4 ^b	2.6	4.521 (9.97)		28.37

1. O percentual mostrado é o nível de dLYS na dieta como percentual da dieta controlada (conforme as recomendações da Aviagen).

2. O WB e as WS graves estão na categoria mais alta da pontuação. Meloche et al. (2018c, d) usaram um sistema de pontuação de 0, 1 e 2 e o estudo comercial usou um sistema de pontuação de 0, 1, 2 e 3.

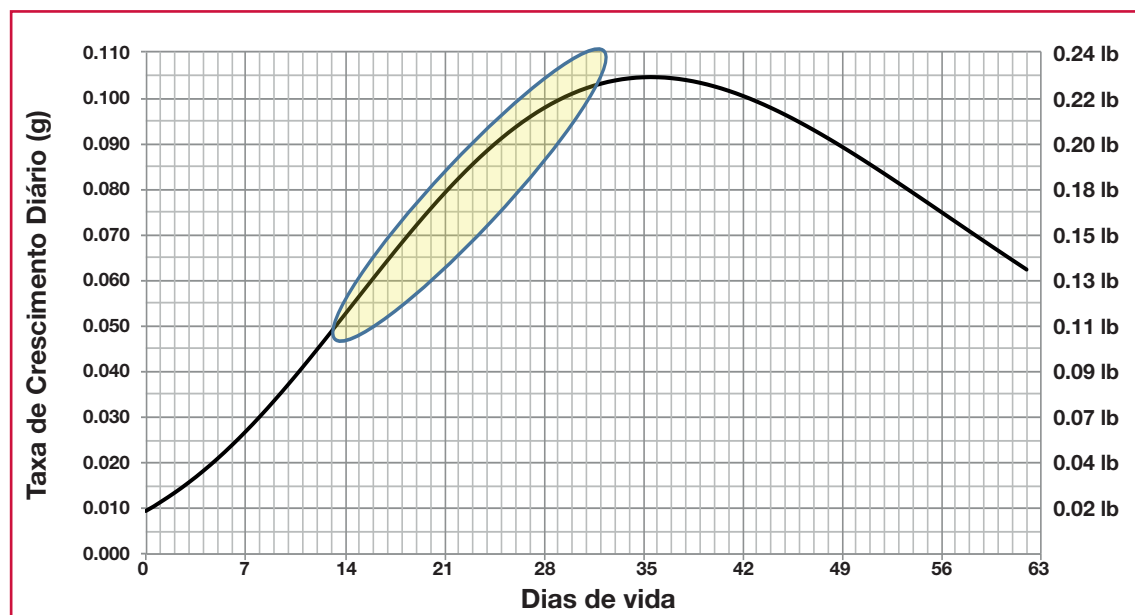
Com base nos resultados desses estudos, pode-se concluir que as reduções na dLYS (exclusão da dLYS) por períodos específicos de idade é uma abordagem eficaz e prática para reduzir a incidência e a gravidade do WB e das WS. No entanto, esse método precisa ser executado corretamente. Nas abordagens extremas (25% de redução de dLYS fornecida entre 12 e 26 dias em um período de crescimento de 48 dias e uma redução de 15% de dLYS fornecida entre 12 e 40 dias em um período de crescimento de 61 dias), foram obtidas reduções significativas dos índices de WB e de WS, embora o rendimento de carne do peito também tenha sido reduzido. Para esses tratamentos extremos, a redução da dLYS foi aplicada por um período que representa aproximadamente 35% (12 a 26 dias em um período de crescimento de 48 dias) e 45% (12 a 40 dias em um período de crescimento de 61 dias) do consumo total de alimento para os respectivos períodos de crescimento. Portanto, os períodos de tratamento precisam ser mais curtos (ou seja, os tratamentos com o consumo total de alimento no período de crescimento devem ser fornecidos em uma proporção menor) do que os utilizados nos tratamentos extremos aqui descritos.

A idade na qual o tratamento com restrições é iniciado também é uma consideração importante, já que a proliferação das células satélites não pode ser afetada. Recomenda-se retardar o início do tratamento até 14 dias, pois isso permite uma “margem de segurança” para o período crítico de proliferação das células satélites acima citado. De modo geral, o período de idade ideal para a utilização da abordagem de redução de dLYS parece ser de 14 a 32 dias (**Figure 18**). O crescimento máximo dos frangos de corte ocorre entre 28 e 35 dias e os dados coletados até o momento não fornecem nenhum benefício real quanto à aplicação do tratamento próximo ou após a idade de crescimento máximo. Ao executar a redução no método com dLYS para reduzir a incidência e a gravidade do WB e das WS, deve-se considerar as seguintes questões:

- Idade de início da redução de dLYS - não antes de 14 dias.
- Duração do período de tratamento - < 25% do consumo de alimento no período de crescimento (**pode-se utilizar o Objetivos de Desempenho** de Frangos de Corte da Aviagen para estimar esse valor - ver o exemplo abaixo).
- O nível de dLYS almejado durante este período deve ser de 85% das especificações nutricionais dos frangos de corte da Aviagen e não é aconselhável utilizar níveis de lisina abaixo de 85%. Da mesma forma, deve-se reduzir apenas a dLYS e não restringir nenhum outro aminoácido.

As idades para utilizar a redução de lisina é de 14 a 32 dias; no entanto, segundo ponto acima deve ser respeitado para chegar ao período de idade apropriado para a implementação.

Figura 18. Curva da taxa de crescimento de frango de corte mostrando o período ideal para reduzir a dLYS.



Exemplo de cálculo da redução do tempo em que a lisina digestível deve ser fornecida.

Ross 308 A/H processada aos 42 dias:

Alimento acumulado em 42 dias = 4739 g / 10.4 lbs

25% de 4739 g / 10.4 lbs = 1185 g / 2.6 lbs

Alimentação até 14 dias = 537 g / 1.2 lbs

Consumo de alimento no qual a exclusão de lisina deve ser interrompida = 1185 g (2.6 lbs) + 537 g (1.2 lbs) = 1722 g (3.8 lbs), o que normalmente é alcançado entre 25 e 26 d

8.4. Crescimento inicial e BM

Os estudos internos da Aviagen em que o consumo de alimento (**Tabela 3**) ou a densidade dos nutrientes (**Tabela 4**) foram reduzidos apenas nos primeiros 11 dias apresentaram aumento nas incidências de WB e de WS. Como foi observado na **Seção 6.2**, o consumo reduzido de nutrientes durante a primeira semana após a eclosão pode reduzir a proliferação das células satélites, o que é essencial para a recuperação muscular (Velleman et al., 2010). Os dados da análise em campo comercial também revelaram que o crescimento reduzido na primeira semana resultou no aumento da incidência de WB e de SS. As evidências de dados de pesquisa e de campo apoiam a conclusão de que o crescimento deficiente nos primeiros 7 a 12 dias após a eclosão aumenta o risco de ocorrência de BM. A meta é atingir um peso corporal de 7 dias que seja pelo menos quatro vezes o peso do pintinho com um dia de idade. Para obter mais informações sobre o crescimento inicial e a taxa de crescimento diário, consulte a **Seção 13.3**.

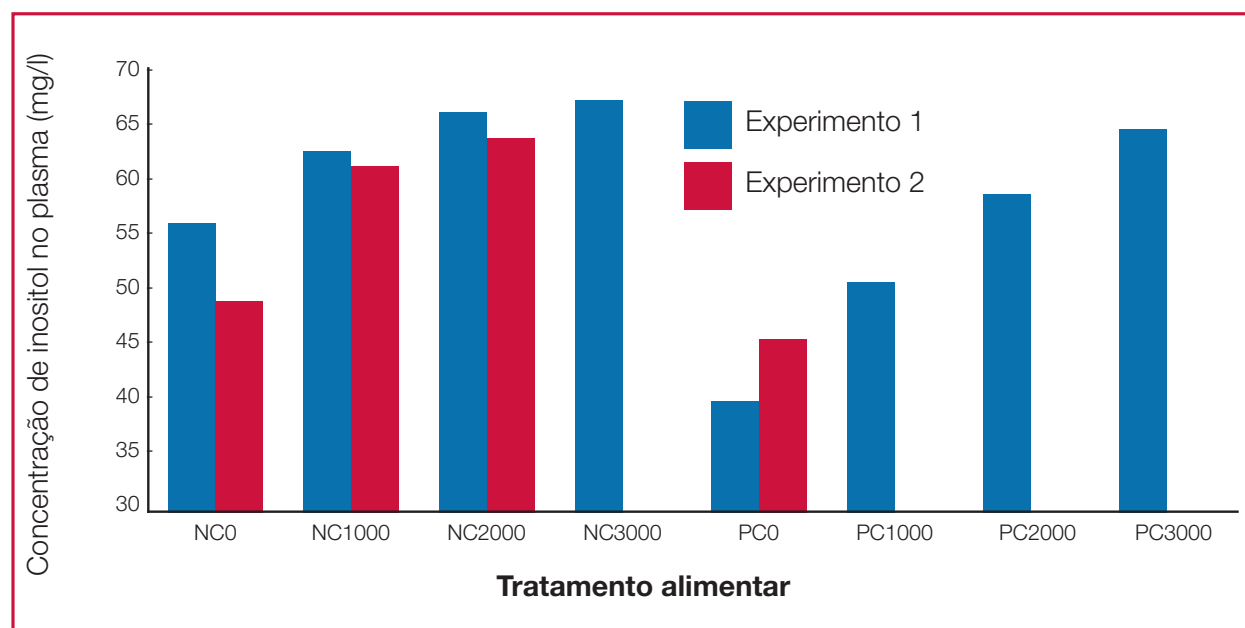
9. Nutrição e BM

9.1. Fitase

O uso de fitase é uma prática comum no setor avícola, como forma de melhorar a digestibilidade do fósforo encontrado nas plantas. As taxas normais de inclusão para esta enzima variam entre 500 e 750 unidades de fitase/kg (2.2 lbs) na ração. A adição desta enzima em doses mais elevadas do que as normalmente recomendadas parece melhorar o desempenho dos frangos de corte.

Estudos anteriores constataram que algumas fitases podem degradar o ácido fítico em ração vegetal para sua forma mais simples (inositol), se fornecidas em dose correta. Observou-se que o inositol no plasma aumenta proporcionalmente com o aumento de dose da fitase (**Figura 19**, Cowieson et al., 2014). Assim que este composto é absorvido e refosforilado no interior da célula, ele age como um potente antioxidante celular, além de outras funções. O tecido do músculo peitoral afetado por miopatias como WB está sob forte estresse oxidativo. Os antioxidantes que chegam no músculo devem ter atividade benéfica nessas condições. Portanto, vários estudos foram realizados para avaliar os efeitos da fitase nos níveis recomendados, ou em doses maiores, em relação à incidência e à gravidade da BM.

Figura 19. O efeito do RONOZYME® HiPhos GT (expresso como FYT/kg) no myo-inositol do plasma concentra-se em pintinhos de frangos de corte que recebem dietas contendo níveis insuficientes (NC) e suficientes (PC) de P e Ca disponíveis (Cowieson et al., 2014).



Um primeiro estudo realizado na granja experimental da Aviagen nos EUA, comparou um tratamento de controle sem adição e com 3 diferentes níveis de fitase (500, 1500 e 3000 unidades/kg de fitase (2.2 lbs)) em dietas predominantemente à base de milho e soja. A suplementação da fitase a níveis acima dos recomendados pelo fabricante resultou na melhora do desempenho das aves vivas e das características da carcaça (**Tabela 6**). No entanto, a suplementação de fitase não teve um impacto estatisticamente importante nas BM, embora tendências numéricas para a redução da gravidade tenham sido observadas. Essa observação leva em conta que os tratamentos com capacidade para aumentar a taxa de crescimento e a deposição da carne do peito geralmente resultem no aumento da incidência de miopatias.

Tabela 6. Desempenho dos frangos de corte do sexo masculino e miopatias do músculo quando alimentados com diferentes níveis de fitase adicionada aos 49 dias.

Nível de fitase	PC kg (lbs)	Conversão alimentar ajustada ¹	Rendimento da carcaça ²	Rendimento total de carne branca ²	Pontuação do WB ³	Pontuação das WS ⁴
Controle (0 FTU)	3.47 (7.65)	1.69 ^a	77.89 ^b	28.07	1.17	1.05
500 FTU ⁴	3.50 (7.72)	1.67 ^{ab}	78.33 ^a	28.28	0.99	0.93
1500 FTU	3.54 (7.80)	1.67 ^{ab}	78.28 ^a	28.12	1.01	1.01
3000 FTU	3.57 (7.87)	1.65 ^b	78.37 ^a	28.24	1.06	0.99
Valores P	0.08	0.04	0.04	0.83	0.32	0.24

1. Conversão alimentar ajustada para mortalidade e WB

2. Expressa em relação ao peso vivo

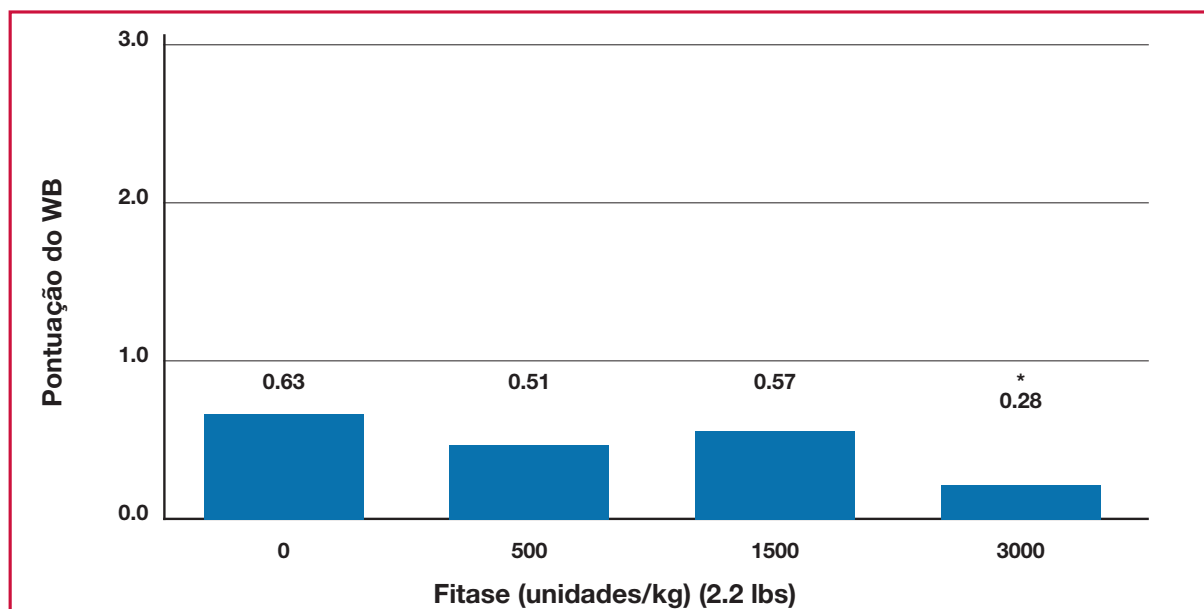
3. Pontuação média de miopatia (variando de 0 a 3) onde 0 representa não afetada e 3 representa gravemente afetada

4. Unidades de fitase

Um estudo realizado na granja experimental da Aviagen, no Reino Unido, usando um projeto de tratamento similar, mas com dietas predominantemente à base de trigo e soja, proporcionou melhorias no desempenho das aves vivas e da carcaça, com a adição da fitase ao alimento acima dos níveis recomendados, assim como nas respostas observadas no primeiro estudo. Como observado no primeiro estudo, os aumentos no desempenho não se traduziram em um aumento na incidência de BM. Além disso, a suplementação de 3000 unidades de fitase/kg reduziu significativamente a severidade de WB em frangos de corte Ross 708 aos 46 dias (**Figura 20**).

Os resultados desse segundo estudo conduzido pela Aviagen estão de acordo com os de York et al. (2016), que descreveram uma redução na severidade de WB quando a ração foi suplementada com uma fitase derivada de E. coli em três vezes a dose recomendada pelo fabricante. No entanto, York et al. (2016) também adicionaram um antioxidante e minerais orgânicos ao alimento, não sendo assim possível concluir se a redução da gravidade do WB foi um efeito derivado exclusivamente da fitase em doses altas. Curiosamente, os autores também relataram um aumento no rendimento de carne do peito e nos parâmetros de desempenho das aves vivas sem efeitos deletérios quanto às BM, em conformidade com todos os estudos de fitase realizados na Aviagen. Portanto, se considera plausível que as doses altas de fitase (>750 FTU) possam melhorar o desempenho dos frangos de corte sem aumentar o risco de ocorrência de BM.

Figura 20. Severidade média de WB em frangos de corte machos Ross 708 aos 46 dias alimentados com vários níveis de suplementação de fitase.



9.2. Ajustes na lisina e altas doses de fitase

Dados os resultados obtidos dos vários estudos sobre a redução da lisina (**ver a Seção 8**) e sobre doses altas de fitase, um estudo foi realizado na granja experimental da Aviagen, no Reino Unido, para avaliar a possível sinergia entre as estratégias de altas doses de fitase e de redução da lisina. Vários períodos de redução de lisina (11-21 dias; 11-29 dias; 15-25 dias; 15-33 dias; 19-25 dias; 19-39 dias) e doses de fitase (500 ou 1500 FTU) foram fornecidos, e o desempenho dos frangos de corte e as miopatias musculares foram avaliados aos 38 e aos 48 dias. Não foram observados efeitos sinérgicos nesse estudo, embora as miopatias tivessem diminuído de forma constante com a abordagem da redução de lisina, independentemente do nível de fitase.

9.3. Arginina

A arginina normalmente não é um fator limitante no alimento comercial à base de milho para frangos de corte, mas pode ser em certas condições, quando outros cereais são utilizados como a principal fonte de grãos. Este aminoácido é importante na síntese de óxido nítrico e de creatina muscular, que são compostos com, por exemplo, propriedades cicatrizantes, fluxo vascular e funções imunológicas. Um estudo preliminar realizado na granja experimental da Aviagen, no Reino Unido, avaliou as recomendações atuais da Aviagen para a relação de arginina e lisina (107) vs. uma relação mais elevada (120). As respostas às miopatias variaram e, consequentemente, o estudo teve que ser repetido. Os resultados do segundo estudo sugeriram que o fornecimento de uma relação de 120 durante toda a fase de crescimento melhorou o desempenho das aves vivas e as características da carcaça em relação às atuais recomendações da Aviagen para a relação de arginina e lisina. Um pequeno benefício associado à redução da incidência da SS na alimentação com uma relação 120 foi observado no início da fase de crescimento (32 dias), embora essa resposta tenha sido inconstante posteriormente (39 ou 46 dias). Os resultados gerais sugerem que níveis mais altos de arginina poderiam proporcionar algum benefício na redução das miopatias musculares. Corzo et al. (2021) determinaram as respostas das relações de arginina e lisina em machos YPM x Ross 708 de 25 a 42 d (**Tabela 7**). O ganho de peso ideal, a conversão alimentar e o rendimento do peito aos 42 dias foram estimados em relações de arginina e lisina de 129, 116 e 109, 112 e 109, respectivamente. Os pesos absolutos e relativos das coxas aumentaram linearmente, com aumentos progressivos nas relações de arginina e lisina até 127, sem alterar significativamente o rendimento do peito. Foi observada uma tendência a redução da miopatia e é possível que a mudança nas características da carcaça possa ter fornecido suporte nutricional para o crescimento muscular normal dos músculos da coxa e do peito [não publicado].

Tabela 7. Desempenho de crescimento de frangos de corte machos YPM x Ross 708 alimentados com dietas que variam na relação de arginina digestível e lisina digestível de 25 a 42 dias.

Relação de arginina de arginina e lisina	Ganho de peso (g)	Conversão alimentar (g:g)	Rendimento do Peito (%)	Coxa (g)	Pontuação do ganho de peso	WS Classificação
0.79	1602	1.99	26.66	376	0.09	0.41
0.89	1687	1.93	27.00	392	0.15	0.28
0.99	1712	1.85	27.37	395	0.23	0.39
1.09	1752	1.82	27.77	403	0.26	0.31
1.19	1772	1.83	27.21	412	0.23	0.20
1.29	1784	1.81	27.25	419	0.13	0.27
SEM	12.3	0.010	0.07	1.56	0.045	0.040
Ótima	129	116	109	>129	109	>129

Adaptado de Corzo et al., 2021

9.4. Histidina

A histidina, em combinação com a alanina, forma o dipeptídeo com carnosina, que é altamente concentrado nas células musculares do peito de frango e tem propriedades antioxidantes. Este dipeptídeo não está disponível como aditivo para ração. As quantidades de alanina no alimento são normalmente suficientes, especialmente porque este aminoácido pode ser sintetizado a partir de outro aminoácido; no entanto, ele é um aminoácido essencial e deve ser fornecido na dieta. Um estudo foi realizado para avaliar a relação de histidina e lisina na granja experimental no Reino Unido. Uma relação normal de histidina e lisina (40) comumente encontrada em alimento comercial foi comparada com uma relação muito mais elevada (70), para avaliar qualquer possível impacto nas miopatias do músculo. Uma taxa mais elevada resultou em melhoras do peso corporal dos frangos de corte e na conversão alimentar, embora essas respostas tenham sido inconstantes em diferentes idades. Não foi observado nenhum efeito nas BM com a variação das relações de histidina e lisina.

9.5. Metionina+Cisteína (TSAA)

Um teste interno recente foi realizado para estudar vários perfis de relação de dTSAA e dLYS ao longo das diferentes fases da dieta, quando fornecidos a frangos de corte machos Ross 308 AP. De forma semelhante às observações de Corzo et al. (2021), o aumento da relação entre dTSAA e dLYS (>78) alterou o rendimento de carcaça, com leve redução no rendimento de peito, melhora no rendimento de perna e menor incidência de WB.

9.6. Aminoácidos de cadeia ramificada (BCAA)

Os aminoácidos de cadeia ramificada (branched-chain amino acids, BCAAs) como leucina (LEU), valina (VAL) e isoleucina (ILE) são aminoácidos essenciais e não podem ser sintetizados pelos animais. Devido à semelhança estrutural entre eles, os antagonismos e as interações foram bem documentados, principalmente quando a leucina é fornecida em excesso. A exigência nutricional de leucina digestível é alcançada em uma proporção de 110 para lisina em todas as fases da alimentação (Baker e Han, 1994; Aviagen, 2022). A formulação de alimento comercial baseada em trigo ou milho é rica em leucina, que geralmente excede as recomendações em níveis de 130 ou mais. Algumas regiões em que a disponibilidade de farelo de soja é inconsistente ou cara, ou em que a pigmentação amarela da pele é necessária, podem observar relações de dLEU e dLYS de até 170-190 devido ao uso excessivo de coprodutos do milho, como DDGs e glútem de milho. Os estudos internos da Aviagen confirmaram que o aumento das relações de dLEU e dLYS acima de 110 requer ajustes adicionais em dVAL e dILE para manter o desempenho do frango. Quando relações mais altas de dLEU e dLYS (>140) combinadas com relações mais altas de dILE e dLYS (>70) aumentaram o rendimento de carne do peito. É conhecido que a leucina desempenha um papel importante como ativador potente do mTORC1 que, conseqüentemente, afeta a síntese de proteínas. Por outro lado, esse aumento no rendimento do peito obtido com relações elevadas de dLEU e dILE para dLYS resultou em uma maior incidência de SS. Portanto, esse maior rendimento de peito pode não ser benéfico para a integridade estrutural do músculo peitoral.

9.7. Outros aminoácidos

As necessidades nutricionais de aminoácidos essenciais foram bem estabelecidas e permanecem mas permanecem sob avaliação contínua para manter as informações atualizadas e economicamente aplicáveis. No entanto, muito menos atenção tem sido dada a um grupo específico de aminoácidos, geralmente chamado de aminoácidos não essenciais (non-essential amino acids, NEAA). Apesar de terem recebido menos atenção do que os aminoácidos essenciais, NEAA têm a mesma importância quantitativa e proporcional para a integridade de todos os tecidos do corpo. Eles desempenham papéis importantes na integridade da pele, no desenvolvimento das penas e na biossíntese de tendões e colágeno. O colágeno é um componente importante do tecido conjuntivo, proporcionando integridade estrutural ao músculo. A síntese de colágeno depende do fornecimento adequado de todos os NEAA, mas principalmente de prolina, OH-prolina e glicina. Esses aminoácidos normalmente são suficientes no alimento que inclui subprodutos de origem animal, como farinha de ossos de carne, farinha de aves etc. Por outro lado, as rações comerciais reduziram progressivamente o teor de NEAA ao longo do tempo devido a restrições no uso de subprodutos animais, ao fornecerem alimento totalmente à base de proteína vegetal, e à crescente disponibilidade comercial de aminoácidos suplementares econômicos, que contribuíram para a redução da proteína bruta nas dietas de frangos de corte. Ao se usar menos ou nenhum subprodutos de origem animal, o conteúdo total de proteína também é reduzido,

o que, por sua vez, aumenta a pressão sobre o suprimento na dieta de NEAA, como prolina, OH-prolina e glicina, que historicamente têm sido negligenciados no processo de formulação e podem comprometer a biossíntese de colágeno e, conseqüentemente, a integridade estrutural do músculo. Estudos internos exploratórios demonstraram o impacto positivo de níveis maiores de NEAA no desempenho, no conteúdo de OH-prolina no músculo e na melhoria da integridade muscular, o que se refletiu na menor ocorrência da SS.

9.8. Minerais orgânicos

Devido à maior biodisponibilidade de minerais orgânicos, alguns fornecedores desses micronutrientes têm afirmado que a sua inclusão no alimento comercial pode auxiliar na redução das BM (por exemplo, o papel do zinco na cicatrização de ferimentos). Portanto, foi realizado um estudo no Reino Unido, no qual foram fornecidas como fontes orgânicas todas as recomendações para o uso de oligominerais da Aviagen, como cobre, zinco, manganês e selênio. Em geral, as respostas produtivas de fontes de alimentação orgânicas de cobre, zinco, manganês e selênio foram semelhantes para os frangos de corte alimentados apenas com as formas inorgânicas desses oligominerais. Observou-se pouca melhora no rendimento eviscerado aos 39 e 46 dias com as fontes orgânicas de alimentação, mas, no geral, não houve nenhuma indicação de que essas formas mais disponíveis de minerais reduziram a BM.

9.9. Programas anticoccidianos

Existem três tipos de programas de controle da coccidiose: vacinas, ionóforos ou produtos químicos. Também há combinações dos três tipos. Observou-se que diferentes programas anticoccidianos podem afetar consideravelmente a taxa de crescimento e o desempenho geral dos frangos de corte. Dalle Zotte et al. (2015) relataram que as aves alimentadas com determinados programas anticoccidianos apresentaram maior incidência de WS grave do que as aves que não receberam nenhum aditivo anticoccidiano ou foram vacinadas. Foi realizado um estudo na granja experimental da Aviagen USA para avaliar os efeitos de vários programas anticoccidianos na incidência de BM. As aves receberam um dos vários tratamentos anticoccidianos possíveis: vacina, produto químico, três ionóforos diferentes, uma combinação de produto químico e ionóforo ou um produto químico seguido de um ionóforo na fase seguinte da alimentação em diferentes idades. Os resultados do estudo são mostrados na **Tabela 8**.

Tabela 8. Desempenho das aves vivas e incidência de miopatias em frangos de corte suplementados com vários programas anticoccidianos aos 62 dias.

Densidade dos aminoácidos	Peso médio kg (lbs)	CA ajustada ¹	Rendimento da carcaça ²	Pontuação do WB ³	Pontuação das WS ³
Vacina	4.69 (10.34) ^{ab}	1.87 ^c	77.85 ^{bc}	0.76 ^c	1.06
Ionóforo A	4.61 (10.17) ^{abc}	1.90 ^c	78.16 ^{abc}	1.19 ^{ab}	1.25
Ionóforo B	4.72 (10.41) ^{ab}	1.87 ^c	78.24 ^{ab}	1.10 ^b	1.19
Ionóforo C	4.74 (10.45) ^a	1.87 ^c	77.79 ^c	1.14 ^b	1.16
Produto químico	4.37 (10.43) ^d	2.05 ^a	78.53 ^a	1.30 ^{ab}	1.21
Produto químico/Ionóforo	4.48 (9.88) ^{cd}	2.00 ^{ab}	78.27 ^{ab}	0.97 ^{bc}	1.11
Quím.-11 dias-Ionóf. ⁴	4.53 (9.97) ^{cd}	1.90 ^c	78.41 ^a	1.21 ^{ab}	1.22
Quím.-25 dias-Ionóf. ⁴	4.63 (10.21) ^{abc}	1.87 ^c	78.34 ^a	1.16 ^b	1.12
Quím.-39 dias-Ionóf. ⁴	4.57 (10.08) ^{bc}	1.91 ^{bc}	77.75 ^c	1.50 ^a	1.33
Valor P	0.009	0.0001	0.0001	0.005	0.39

1. Conversão alimentar ajustada para mortalidade e WB.

2. Expressa em relação ao peso vivo.

3. Pontuação média de miopatia (variando de 0 a 3) onde 0 representa não afetada e 3 representa gravemente afetada.

4. Um produto químico foi suplementado ao alimento em 0-11 dias, 0-25 dias ou 0-39 dias. Todos esses períodos de alimentação foram seguidos imediatamente por um ionóforo no alimento até 62 dias.

Os diferentes programas anticoccidianos foram testados em um ambiente com baixo desafio de coccidiose para avaliar os efeitos sobre a taxa de crescimento, conversão alimentar e rendimento de carcaça. Embora nenhum impacto tenha sido relatado para o WS, os diferentes programas anticoccidianos influenciaram drasticamente na incidência de WB. Os frangos de corte que receberam vacina tiveram menor incidência de WB, sendo que o produto químico e os programas químicos/ionóforos foram os mais elevados. A trajetória da curva de crescimento das aves vacinadas foi moderada depois de 15 dias, em comparação com as que receberam tratamentos com ionóforos.

Admite-se como hipótese que os efeitos do WB se atribuem às diferenças das trajetórias da curva de crescimento. A interação negativa conhecida do produto químico com alta temperatura ambiente e a regulação térmica das aves também parecem causar impacto, já que esse tratamento teve uma maior incidência de WB do que o tratamento com as aves vacinadas, apesar de apresentarem uma taxa de crescimento muito menor.

Um estudo de acompanhamento com um esquema de tratamento semelhante ao anterior foi realizado na granja experimental da Aviagen nos EUA, com um tratamento de "bio-shuttle", que consiste na associação de vacina com o uso de ionoforo em períodos específicos. Esse tratamento consistiu em de uma combinação da vacina contra a coccidiose logo após a eclosão e um ionóforo fornecido somente durante a segunda alimentação. Os resultados desse estudo não repetiram o desempenho dos frangos de corte ou os efeitos da BM observados no primeiro estudo. Ao contrário dos resultados do primeiro estudo, houve uma ligeira redução na curva de crescimento após 15 dias de tratamento com vacina. Conseqüentemente, os efeitos importantes da miopatia relatados no primeiro estudo não se repetiram. Parece que a vacinação contra coccidiose pode reduzir a incidência e a gravidade do WB e das WS se a trajetória da curva de crescimento for reduzida o suficiente durante o período intermediário de crescimento (por exemplo, 15-32 dias).

9.10. Ração pré-inicial

A importância de uma alimentação adequada durante o período de alojamento, onde ocorre a proliferação máxima de células satélites, já foi documentada na literatura (Harthan et al., 2013; Mann et al., 2011; Velleman et al., 2010, 2014; Powell et al., 2014) e demonstrada em um estudo da Aviagen descrito anteriormente, onde o controle do consumo de alimento só foi aplicado durante os primeiros 11 dias de vida. O último estudo mostrou como as BM pioraram quando a alimentação controlada e *ad libitum* dos frangos foi de 95% durante a primeira fase de alimentação. Portanto, um estudo foi realizado na granja experimental da Aviagen nos EUA, onde as aves receberam ração pré-inicial (0-11 dias com ração pré-inicial; 11-14 dias com inicial) ou com um programa regular com ração inicial (0-14 dias), conforme todas as recomendações nutricionais da Aviagen (2014). A ração pré-inicial foi fortalecida com níveis mais elevados de aminoácidos, vitaminas C e E, onde usou-se óleo de soja comestível em vez de gordura de aves. As aves alimentadas com ração pré-inicial tiveram melhora do peso corporal em 14 dias e apresentaram melhor viabilidade durante toda a vida do plantel. Nenhum outro ponto positivo do desempenho foi relatado em diferentes momentos. Com relação à incidência de BM, foram observadas melhoras das WS aos 42 dias, mas não aos 56 dias, e não foram observadas melhoras no WB. Parece haver pontos positivos no desempenho das aves vivas quando uma ração pré-inicial é utilizada, mas o impacto nas BM requer investigação mais profunda. A definição de uma ração "pré-inicial" em termos de perfil com nutrientes específicos pode variar muito e isso deve ser levado em conta ao se generalizar os efeitos de uma dieta à base de ração pré-inicial.

9.11. Antioxidantes

Um possível fator impactante nas BM é o estresse oxidativo. Já Kuttappan et al. (2012e) mostraram que a suplementação de dietas com gordura de boa qualidade com vitamina E até 400 UI/kg (2.2 lbs) não teve nenhum impacto na WS. Se a produção de radicais livres superar a capacidade do corpo de neutralizá-los, pode ocorrer dano oxidativo nas membranas celulares e desencadear uma cascata de reações que, em última análise, prejudica a integridade dos tecidos do corpo.

Por esse motivo, o óleo de soja foi deliberadamente oxidado a um nível pré-determinado de peróxidos e usado para a fabricação de alimento para frangos de corte em um estudo da Aviagen. Este óleo de soja oxidado continha um nível conhecido de peróxidos (225 mEq/kg (2.2 lbs)) e foi fornecido aos frangos de corte na inclusão de 3%. A adição do antioxidante etoxiquina (125 ppm), vitamina C estável ao calor (200 ppm), vitamina E (180 UI) ou combinações foram

avaliadas quanto ao seu impacto nas BM. A **Tabela 9** mostra como a adição de qualquer um dos antioxidantes, ou a combinação deles, reduziu o WB aos 49 dias, embora esse efeito não tenha sido replicado aos 62 dias. A análise estatística mostrou que aos 49 dias, todos os antioxidantes reduziram consideravelmente o WB grave (Pontuação 3) em 38% a 48% (**Tabela 10**) e esses resultados foram comprovados por esses antioxidantes, reduzindo significativamente a desidrogenase láctica no plasma em comparação com o controle. Nenhum efeito benéfico da adição de antioxidantes foi detectado nas WS.

Tabela 9. Desempenho de aves vivas e incidência de miopatias nos frangos de corte suplementados com diferentes antioxidantes em 49 dias, quando receberam alimento com gordura altamente oxidada.

Antioxidante	Peso médio kg (lbs)	Ajuste da conversão alimentar ¹	Pontuação do WB ²	% das pontuações do WB 2&3 ³	Pontuação das WS ²
Sem antioxidantes	3.59 (7.91)	1.71	1.19 ^a	37	1.28
Etoxiquina	3.57 (7.87)	1.70	1.09 ^{ab}	32	1.18
Vitaminas C e E	3.63 (8.00)	1.68	0.86 ^b	27	1.16
Etoxiquina + Vitamina C e E	3.61 (7.96)	1.67	1.10 ^{ab}	33	1.33
Valor P	0.33	0.06	0.04	0.37	0.39

Tabela 10. Efeito de diferentes antioxidantes na incidência do WB grave (pontuação 3) em frangos de corte Ross 708 com 49 dias. Se as aves receberem alimento com gordura oxidada/óleo, estarão mais suscetíveis ao estresse oxidativo, podendo se beneficiar da adição de antioxidantes eficazes.

Antioxidante	Pontuação do WB 3 (% do total)	Alteração relativa em relação ao óleo oxidado sem antioxidantes	Valor P vs. óleo oxidado sem antioxidantes
Sem antioxidantes	29.0	-	-
Etoxiquina	15.0	-48%	0.017
Vitaminas C e E	17.0	-41%	0.044
Etoxiquina + Vitamina C e E	18.0	-38%	0.065

9.12. Ácido guanidinoacético

O ácido guanidinoacético está disponível comercialmente na maioria dos países e é um precursor metabólico da creatina. A creatina composta é formada no metabolismo das proteínas e participa do fornecimento de energia celular para a contração muscular. Dietas que apenas contêm ingredientes vegetais podem não conter suficiente creatina.

Um trabalho recente da Universidade Estadual da Carolina do Norte, realizado por Cordova-Noboa et al. (2018), indicou que a adição desse composto pode ajudar a reduzir a incidência e a gravidade de WB. Portanto, um estudo foi conduzido na granja experimental da Aviagen nos EUA, no qual esse composto foi adicionado à alimentação dos frangos de corte (600 g (1.3 lbs)/MT) e comparado com um alimento de controle. Observaram-se poucas melhoras no WB (em 49 dias, mas não em 56 dias), com a suplementação de ácido guanidinoacético no alimento dos frangos de corte. Nenhum efeito nas WS em qualquer idade foi observado. Curiosamente, um aumento no rendimento de peito ocorreu com a adição desse composto e a melhora do rendimento não se refletiu no aumento de WB. Esse efeito é semelhante à alta dose de fitase em alguns dos nossos estudos descritos anteriormente. Em resumo, esse composto parece melhorar a produtividade dos frangos de corte sem agravar as BM.

A Aviagen realizou dois estudos de campo na Europa, em condições comerciais, para avaliar os efeitos da adição de ácido guanidinoacético a dietas vegetais sobre o desempenho dos frangos de corte e as BM. Em ambos os testes, foram usadas duas granjas, cada uma com dois galpões que foram alimentados com uma dieta padrão ou suplementada com 600 g (1.3 lbs) / tonelada de ácido guanidinoacético. Em ambos os estudos, os aviários que forneceram ácido guanidinoacético tiveram uma incidência muito menor de WB e WS, com uma redução de 17% a 31%. Em três dos quatro aviários que forneceram ácido guanidinoacético, também houve um desempenho melhor no crescimento em comparação com os aviários com alimento de controle, o que corrobora observações anteriores.

9.13. Outros produtos

Um produto comercializado que contém betaína, ácido ascórbico e um composto fitogênico não identificado foi considerado capaz de afetar a incidência de BM. Ele atraiu muito interesse das empresas avícolas devido às alegações iniciais de que o produto poderia reduzir significativamente a incidência e a gravidade da BM. Testes relatados na Europa e no Brasil afirmam que esse produto tem propriedades importantes para reduzir o WB.

Para testar a eficácia do produto contra as BM, um estudo foi realizado na granja experimental da Aviagen nos EUA, utilizando as recomendações do fabricante e, em um tratamento separado, incluindo esse produto por um período de dosagem prolongada. A **Tabela 11**, resume os resultados do estudo. Concluiu-se que não houve nenhum efeito sobre o WB ou sobre as WS; além disso, nenhuma medição do parâmetro produtivo foi observada quando esse produto foi suplementado em algumas das doses testadas.

Tabela 11. Desempenho de aves vivas e incidência de miopatias nos frangos de corte com suplementos de betaína, ácido ascórbico e um produto composto fitogênico não identificado aos 49 dias.

	Peso médio kg (lbs)	Ajuste da conversão alimentar	Pontuação do WB ³	% das pontuações do WB 2&3 ⁴	Pontuação das WS ³
Controle	3,76 (8.29)	1,58	1,69	50,5	1,72
Produto ¹	3,73 (8.22)	1,60	1,66	50,7	1,64
Produto estendido ²	3,72 (8.20)	1,60	1,66	53,5	1,83

1. O tratamento seguiu as recomendações de inclusão do fabricante: 0.1% no alimento inicial, 0.065% no alimento de crescimento e 0.035% no alimento final.

2. O tratamento foi adicionado em 0.1% ao alimento inicial, e, 0.065% ao de crescimento e em 0.035% a todos os três restantes até o processamento.

3. Pontuação média da miopatia (variando de 0 a 3), onde 0 representa não afetada e 3 representa gravemente afetada.

4. WB com pontuações 2 e 3 expressas em percentagem em relação a todos os filés do peito para esse grupo de tratamento.

10. Manejo e BM

10.1. Incubação

O embrião se desenvolve em etapas bem definidas em 21 dias de incubação. Condições extremas de incubação podem afetar a taxa e o desenvolvimento relativo dos tecidos, embora não sejam necessariamente fatais. Por exemplo, há muitas evidências que a temperatura alta ou baixa da casca de ovo durante a incubação afetará a taxa de crescimento embrionário, ao passo que níveis elevados de CO₂ nas primeiras fases da incubação podem afetar a ramificação capilar na membrana corioalantoica (Verholst et al., 2011).

O desenvolvimento de hiperplasia das miofibrilas do esqueleto ocorre antes e logo após a eclosão, e condições abaixo do ideal por volta do 14º dia de incubação podem afetar o crescimento e o desenvolvimento do peito após a eclosão. Por este motivo, a Aviagen recomendava evitar o sobreaquecimento do embrião na fase final de eclosão. No entanto, existem algumas técnicas de incubação menos comuns que afetam o crescimento do músculo peitoral após a incubação, bem como o rendimento de peito no processamento e de BM, incluindo:

- períodos curtos de temperatura elevada alternados com temperatura mais baixa (Pietsun et al., 2008);
- exposição à luz verde durante a incubação (Rozenboim et al., 2004).

A pesquisa científica geralmente descreve os resultados de experimentos realizados em pequena escala em incubadoras experimentais. Os esforços recentes na granja experimental da Aviagen nos EUA, para ampliar esses

modelos experimentais nas incubadoras comerciais, de estágio único, não forneceram resultados significativos, supostamente porque é difícil fornecer luz e variações de temperatura específicas em cada ponto de uma incubadora comercial.

Todos os estudos em pequena escala relatados se concentraram exclusivamente nos eventuais benefícios do número maior de células satélites encontrado no peito no momento do abate. Embora se suponha que as células satélites extras também possam reparar os danos ao músculo peitoral, isso não foi testado diretamente. Novamente, em estudos sobre a incubação em larga escala da Aviagen em relação à manipulação térmica ou à iluminação durante a incubação, o seu impacto no WB ou em qualquer outra BM foi limitado, embora também não tenha causado danos à eclosão, ao crescimento muscular ou à qualidade do músculo peitoral.

Por enquanto, a melhor recomendação para minimizar a ocorrência de BM é o controle das condições da incubação e a prevenção do superaquecimento nas fases tardias de incubação. A manipulação térmica ou a iluminação em grande escala necessita de acompanhamento cuidadoso para garantir uma execução conforme o esperado, sem consequências indesejáveis. Um novo experimento está em andamento nessa área.

10.2. Acesso à ração pós nascimento

Durante muitos anos, a Aviagen tem orientado os produtores para alimentarem os pintinhos o mais rápido possível após a eclosão. A pesquisa realizada por Noy e Sklan (1997) mostra que a eficiência e o crescimento melhoraram com a alimentação inicial porque o alimento no intestino acelerou a mobilização e a utilização do saco vitelínico, permitindo que os pintinhos aproveitassem melhor esses nutrientes para seu crescimento, em vez da manutenção da ave pós nascimento. Em 2000, Halevy et al. mostraram que o controle alimentar dos pintinhos durante a primeira semana após a eclosão reduziu a proliferação das células satélites e o crescimento muscular; o efeito foi proeminente quando os pintinhos ficaram sem alimento ou água nas 48 horas seguintes após a eclosão. Velleman et al. (2014) mostraram efeitos semelhantes limitados ao tempo quando o consumo de alimento foi reduzido em 20% durante a primeira ou segunda semana após a eclosão.

Neste caso, e diferentemente de outros estudos sobre incubação, estudos em maiores escalas realizados na granja experimental da Aviagen nos EUA mostraram que o baixo crescimento após a eclosão está fortemente associado ao aumento das miopatias. Novamente, a recomendação é assegurar que os frangos de corte sejam alojados logo que possível após a eclosão, alcancem o papo cheio nas primeiras 24 horas e atinjam o peso de no mínimo 4 vezes o peso do alojamento em 7 dias, permanecendo essa a melhor prática para limitar a ocorrência de BM.

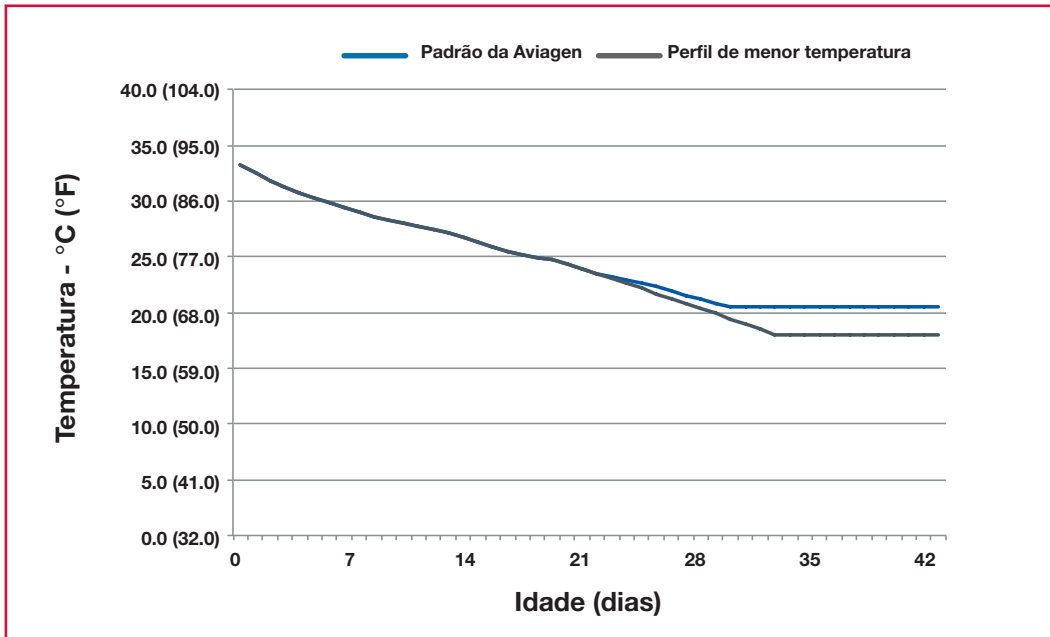
10.3. Temperatura corporal/ambiente

A alta temperatura ambiental pode resultar em lesão muscular nos frangos de corte. Sandercock et al. (2006) mostraram que aves com estresse térmico apresentaram níveis mais elevados de creatina quinase no plasma, indicando lesão muscular. Zahoor et al. (2016) testaram a hipótese de que BM se deve à incapacidade dos frangos de corte modernos de perder calor. Comparou-se um perfil de temperatura padrão com um perfil resfriado após 21 dias de idade. Não foi encontrada nenhuma diferença na histologia muscular ou na atividade da creatina quinase, embora o músculo do tratamento com resfriamento tenha apresentado maior rigidez, porém, sem nenhuma diferença na força de cisalhamento. Da mesma forma, um estudo interno da Aviagen realizado na granja experimental na Holanda comparou o crescimento de frangos de corte a uma temperatura constante de 25 °C (77 °F) após 12 dias com o perfil de temperatura normal que diminui para 19 °C (66 °F), mas não encontrou nenhuma diferença na incidência de qualquer BM.

Foi demonstrado que o estresse térmico durante o transporte para a unidade de processamento aumenta a incidência de PSE em frangos de corte (Holm e Fletcher, 1997; Simões et al., 2009), ao passo que temperaturas abaixo de 0 °C (32 °F) aumentam a incidência de DFD (Dadgar et al., 2012). Embora não haja nenhuma evidência clara e publicada atualmente, algumas evidências de campo indicam que evitar que os frangos de corte sofram estresse térmico pode reduzir a incidência de WB, WS ou SS; alguns produtores de frangos de corte relatam que a incidência do WB diminui quando a temperatura do aviário é mais baixa. Muitos dos que adotaram procedimentos para reduzir as temperaturas elevadas ao nível das aves conseguiram reduzir a BM.

Onde as BM forem um problema, a Aviagen recomenda a redução da temperatura do aviário e o aumento da ventilação para dos frangos durante as fases intermediárias e finais. Um perfil de temperatura recomendado para reduzir a incidência de BM está na **Figura 21**. Como se sabe, alguns anticoccidianos podem elevar a temperatura corporal (**Seção 9.6**), e o seu uso deve ser evitado, na medida do possível, quando a temperatura do aviário estiver elevada.

Figura 21. Perfil de menor temperatura para reduzir BM em comparação com o perfil padrão da Aviagen. O aumento de umidade pode ser necessário para reduzir a sensação térmica.



Ao considerar a temperatura, também é muito importante levar em conta a densidade como kg de peso vivo/m² (lb de peso vivo/ft²). A temperatura do ar medida pode não refletir realmente a temperatura percebida pelas aves; quanto maior for a densidade, menor será a capacidade dos frangos de corte de liberar o calor metabólico produzido. Em termos gerais, com 30 kg (66.1 lb), a temperatura ambiente deve estar em torno de 20 °C (68 °F), para obter o conforto ideal para as aves. Essa orientação é relevante para os níveis recomendados de umidade relativa apresentados no **Manual de manejo de matrizes**. Para cada kg (lb) extra por metro quadrado (ft²), a temperatura ambiente deve ser reduzida em 0.5 °C (0.9 °F). É importante observar que a velocidade do ar é vital para remover o calor produzido, portanto, a temperatura do ar é usada como parâmetro para aumentar a taxa de ventilação.

Como mencionado acima, a densidade é outro aspecto a ser considerado para controlar a BM. Dados de campo mostraram que densidades populacionais mais altas (kg [lb] de carne/m² [ft²]) podem aumentar o risco e a gravidade das BM. A Aviagen acredita nas recomendações de densidade e temperatura, mas é importante observar que, se a densidade for alterada para níveis diferentes dos recomendados, pode ser necessário ajustar os perfis de temperatura.

O efeito das condições ambientais (temperatura interna e externa) e dos parâmetros de produção (número de aves no aviário e peso das aves) deve ser considerado ao calcular a produção de calor das aves (W/kg; lb). Determinar a quantidade de calor que as aves produzem ajudará a garantir que a temperatura do aviário seja reduzida para uma temperatura adequada com base no peso corporal da ave e na densidade.

10.4. Níveis de dióxido de carbono

Nos aviários, os níveis de dióxido de carbono (CO₂) variam de acordo com a ventilação e esse indicador pode ser considerado como medida para o CO₂. Normalmente, durante a fase inicial, com uso de aquecimento, o aviário deve operar com ventilação mínima e suficiente para manter os níveis de CO₂ abaixo de 3000 ppm. No entanto, em muitas situações, os níveis de CO₂ durante o aquecimento podem ser muito elevados, por exemplo, quando a temperatura exterior for baixa e o produtor reduz a ventilação mínima para economizar nos custos de aquecimento e nesses casos foram observados níveis superiores a 6000 ppm. Com o crescimento das aves, começam a gerar mais calor metabólico e a ventilação deve ser aumentada para dissipar esse calor. Nessas circunstâncias, os níveis de CO₂ normalmente serão muito inferiores a 3000 ppm. Os altos níveis de CO₂ no aviário também podem indicar altos níveis de amônia e baixos níveis de oxigênio, e os efeitos de cada um desses gases não podem ser dissociados facilmente.

Há duas hipóteses que podem explicar por que os altos níveis de CO₂ ou, ao contrário, os baixos níveis de oxigênio, podem ter um efeito negativo sobre a incidência de BM. Em primeiro lugar, o alto nível de CO₂ durante o período de aquecimento pode ter um efeito negativo sobre o crescimento na primeira semana; conforme observado na **Seção 8.1**, o baixo crescimento inicial aumenta o risco de ocorrência de BM, possivelmente devido à redução da proliferação de células satélites.

A segunda possibilidade é que níveis elevados de CO₂ provoquem ascite, que, por sua vez, reduz a circulação sanguínea nas aves mais velhas, aumentando o risco de danos nas células musculares. Uma análise de dados do plantel de frangos de corte da unidade de processamento observou um aumento de BM em plantéis com maior incidência de ascite. Além disso, os dados do programa de seleção da Aviagen mostraram que as aves com um maior nível de saturação de oxigênio no sangue correm menos risco de sofrerem de peito amadeirado. Não há nenhum dado publicado que mostre o efeito dos níveis de CO₂ durante o aquecimento no início do crescimento; na verdade, os poucos estudos que investigaram os níveis de CO₂ até 9000 ppm no aviário não encontraram nenhum efeito sobre o crescimento (McGovern et al., 2001; Olanrewaju et al., 2008). Uma análise limitada de dados de campo de um produtor europeu de frangos de corte da Aviagen mostrou um crescimento reduzido quando os níveis de CO₂ no aviário ultrapassaram 3000 ppm, mas mais dados são necessários para confirmar essa observação.

Estudos demonstraram que níveis elevados de CO₂ durante o aquecimento podem aumentar a ascite:

- McGovern et al. (2001) mostraram uma maior mortalidade tardia devido à ascite durante o aquecimento com níveis de CO₂ de 6000 ppm vs. 600 ppm;
- Olanrewaju et al. (2008) observaram um aumento linear na mortalidade tardia dos frangos de corte e aumento do peso do coração em 42 dias à medida que os níveis de CO₂ durante o aquecimento aumentaram acima de 3000 a 6000 e 9000 ppm.

Não existem publicações que indiquem o aumento de BM devido a níveis elevados de CO₂. No entanto, uma vez que manter os níveis de CO₂ abaixo de 3000 ppm é considerado como boa prática de manejo e recomenda-se que seja fornecida ventilação suficiente o tempo todo para alcançar esse objetivo.

10.5. Programa de iluminação

O efeito da iluminação na BM não foi abordado nas pesquisas publicadas, mas vários estudos mostraram que o período de luz, intensidade e comprimento de onda podem afetar o desenvolvimento do músculo peitoral.

O efeito do comprimento de onda da luz sobre o desenvolvimento do músculo do peito foi estudado por Rozenboim et al. (1999), que demonstraram que as aves criadas sob luz verde tinham maior rendimento de carne do peito em comparação com a luz branca, azul e vermelha. Curiosamente, esse grupo também mostrou que as aves criadas sob as luzes azul e verde até os 5 dias tinham mais células satélites por grama do músculo peitoral (Halevy et al., 1998). Dada a importância das células satélites para a recuperação muscular, a possibilidade de que as luzes azul e verde aumentem o número dessas células no músculo está sendo investigada mais a fundo pela Universidade de Saskatchewan.

Estudos publicados não mostraram nenhum efeito direto dos programas de iluminação nas BM, mas evidências sugerem que a luz pode afetar o desenvolvimento muscular. Dois estudos internos da Aviagen analisaram o efeito do programa de iluminação na incidência das BM e os resultados sugeriram que programas de iluminação modificada poderiam ser usados para reduzir a incidência de WB; o mecanismo pode ser através do crescimento reduzido de modo semelhante aos dos estudos da eliminação de lisina. No entanto, o programa de iluminação ideal para reduzir as BM ainda não é bem compreendido e é necessário pesquisar mais antes de fazer qualquer recomendação.

10.6. Profundidade da cama de aviário

Sugeriu-se que algumas BM podem ser desencadeadas pelo suprimento sanguíneo pobre até o músculo peitoral, causando a morte das células musculares localizadas. Quando os frangos de corte permanecem sentados na cama de aviário por longos períodos, a pressão no peito pode causar a constrição do suprimento sanguíneo (isquemia) no peito e aumentar o risco de danos às células musculares. Sugeriu-se que uma cama de aviário dura e compacta poderia aumentar o risco de peito amadeirado, e um estudo da Universidade de Helsinque (Puolanne et al., relatório de 2015 não publicado) revelou que o fornecimento de uma cama de aviário macia (SLATS) reduziu a incidência de WB em comparação com o uso de maravalha.

Não é recomendável o uso de SLATS como cama para frango, mas uma boa profundidade de cama pode diminuir a pressão exercida no peito das aves enquanto estiverem deitadas, podendo reduzir a incidência de WB. Isso não foi testado comercialmente.

10.7. Bater de asas/atividades das aves

Sabe-se há muito tempo que a miopatia peitoral profunda pode ser induzida pelo bater de asas vigoroso em frangos de corte e perus (Lien, 2012). O bater de asas resulta na contração dos músculos peitorais e dos músculos peitorais profundos, enchendo-os de sangue. Devido ao revestimento inflexível ao redor do músculo, a pressão no seu interior aumenta, reduzindo o fluxo de sangue dentro e fora dele, podendo resultar na morte das células dos músculos peitorais profundos. Um bater das asas vigoroso no pré-abate resultará na ocorrência de DPM.

Observou-se que o bater de asas e um longo tempo de espera antes dos abate afeta o glicogênio muscular e o teor de ácido láctico pós abatae, aumentando o risco de miopatia como PSE (Berri et al., 2005; Debut et al., 2003).

Embora haja evidências mínimas de que miopatias como o WB e a SS possam ser induzidas por atividade excessiva das aves, deve ser considerada uma boa prática de manejo a busca pela redução da atividade excessiva das aves, com o bater de asas em qualquer momento da vida. Deve-se evitar qualquer atividade excessiva dentro do aviário e as aves devem sempre ser manejadas de forma tranquila, com muito cuidado, para reduzir ao máximo o bater das asas com força, causando danos aos músculos peitorais.

10.8. Redução da densidade do aviário (thinning)

Muitas empresas usam a prática de redução na densidade do lote, retirando uma parte das aves em uma idade precoce, com menor peso, antes do abate total do lote. Esse processo também pode ser chamado de desbaste do lote. As aves mais leves atendem uma necessidade do abatedouro para mercados específicos.

As aves que permanecem no aviário após o desbaste, até o abate final, têm mais espaço de piso, comedouro, bebedouro etc, o que permite a melhora do seu crescimento até o abate final.

A prática de redução da densidade tem dois caminhos potenciais para afetar a incidência de BM. Em primeiro lugar, a atividade no aviário quando as aves estão sendo carregadas pode perturbar as aves restantes e levar a uma atividade excessiva e ao bater de asas. Nesse caso é fundamental garantir que as aves com menor idade sejam carregadas de forma calma e silenciosa para que as outras não sofram distúrbios. Em segundo lugar, o piso, comedouro, bebedouro e espaço extras que repentinamente fiquem disponíveis para as aves restantes podem resultar em um aumento expressivo da taxa de crescimento. A experiência no campo mostrou que as aves que crescem mais rapidamente do que 120 g/d (0.26 lbs) após a redução de densidade têm um risco maior de WB e WS. Assim, recomenda-se permitir o acesso gradual das aves restantes ao espaço extra e disponível após o processo de desbaste.

11. Doença e BM

Não existem sinais clínicos de BM na granja, nem evidência da sua presença nas aves vivas. A exceção é a WB, onde a rigidez no músculo pode ser detectada por palpação. Além disso, a epidemiologia não demonstra que exista uma causa infecciosa, por não haver nenhum padrão de propagação entre os aviários, granjas ou complexos que indiquem a presença de agentes infecciosos.

BM podem ser observadas em todas as raças/linhagens de frangos a partir dos 14 dias, com prevalência variável em uma ampla gama de pesos de processamento, manejo, alimentação e sistemas de criação (Radaelli et al., 2016). O WB foi detectado em linhagens diferentes na mesma época, em diferentes continentes, e esse não é o comportamento esperado de uma doença infecciosa. Também há boas evidências de uma etiologia metabólica (**Seções 7.1 e 7.2**). Bilgili (2016) concluiu que não há evidências de agentes infecciosos e/ou patogênicos associados às BM.

No entanto, alguns pesquisadores ainda questionaram se um agente infeccioso pode ter algum papel no WB, devido a vasculite linfocítica observada por histopatologistas em aves com essa condição.

Embora o infiltrado perivascular possa ser indicativo de uma flebite linfocítica, outros pesquisadores explicaram a presença desses linfócitos como uma resposta imune natural. "O acúmulo de tecido linfóide ao redor dos vasos no WB é explicável e totalmente coerente, por ser parte da resposta inflamatória ao grande dano tecidual (ou seja, no músculo) quando a circulação permanece relativamente funcional e os vasos permanecem evidentes". (Comunicação pessoal: Alisdair Wood - especialista em histopatologia de aves, Reino Unido). Um estudo recente de Barnes et al. (2017) detectou um coronavírus infeccioso em uma unidade experimental na Universidade Estadual da Carolina do Norte, mas essa descoberta não foi replicada em um estudo recente no Reino Unido (dados não publicados).

12. Processamento

Esta seção foi escrita e revisada pelo Dr. Sarge Bilgili, professor emérito da Universidade de Auburn.

12.1. Efeitos do manejo pré-abate

Os sistemas de manejo e criação de lotes antes do processamento são muito importantes, pois estão relacionados à taxa de crescimento (tecido muscular), à atividade das aves (metabólica, esquelética e cardiovascular) e, conseqüentemente, à ocorrência de BM. A DPM tem sido diretamente associada ao uso excessivo das asas (para ajudar no equilíbrio, locomoção, resfriamento etc.) e à atividade das aves (comportamento de medo e fuga). Conseqüentemente, as práticas de produção animal devem voltar a atenção à limitação da atividade das asas durante o crescimento, especialmente no período próximo do abate. Frangos de corte tendem a ser agitados em resposta às altas intensidades luminosas e à maior duração natural do dia. O uso excessivo e repentino das asas pode ser desencadeado por muita atividade humana no aviário (separação frequente das aves em boxes, pesagem, manejo da cama do aviário, vacinações e atividades relacionadas redução da densidade (thinning) dos lotes), sons incomuns ou novos no interior ou ao redor do aviário/granja, bem como as atividades diárias associadas ao acesso ao alimento e à água, tentativas de empoleiramento ou saltos sobre cercas divisórias (em particular, os tubos de plástico utilizados por alguns produtores). Além disso, os frangos sob calor excessivo também estendem suas asas para longe do corpo para facilitar a perda de calor por convecção. A ventilação adequada durante o estresse térmico é de extrema importância para a prevenção da DPM, que também foi associada a problemas articulares (artrite, sinovite e tenossinovite) devido a ajustes posturais compensatórios (exemplo de andar com asas estendidas).

A influência da atividade das aves sobre outras BM ainda não está totalmente elucidada, embora as sobrecargas e os micro-rupturas associados à atividade muscular possam sobrecarregar os processos de reparação. Em comparação com os mamíferos, a resposta inflamatória é extremamente rápida nas aves e as respostas teciduais associadas podem ser significativas. O manejo das aves, a luta para se livrarem da captura e o seu carregamento podem causar danos, quando em excesso, mas geralmente na forma de deslocamento das asas, hemorragias musculares e petéquias de sangue.

Todo processo de manejo de carregamento, movimentação, cercamento e transporte das aves também são muito importantes para a exaustão metabólica e lesão muscular. Sabe-se que a retirada da ração tem papel importante na manifestação das BM e na qualidade da carcaça. No caso de períodos prolongados de jejum involuntário ou proposital, as reservas de glicogênio (no músculo e no fígado) são praticamente esgotadas, o que resulta em pH muscular elevado após o processamento (ou seja, carne DFD). Além disso, a retirada de ração prolongada pode causar uma alteração no metabolismo, resultando em um estado catabólico que leva à degradação da proteína e a perdas musculares (rendimento). Dados internos recentes da Aviagen mostraram que um aumento do tempo de retirada da ração em 4 horas resultou em uma maior incidência da SS. É importante que o tempo recomendado de retirada da ração de 8 a 12 horas antes do processamento esperado seja mantido.

12.2. Processamento

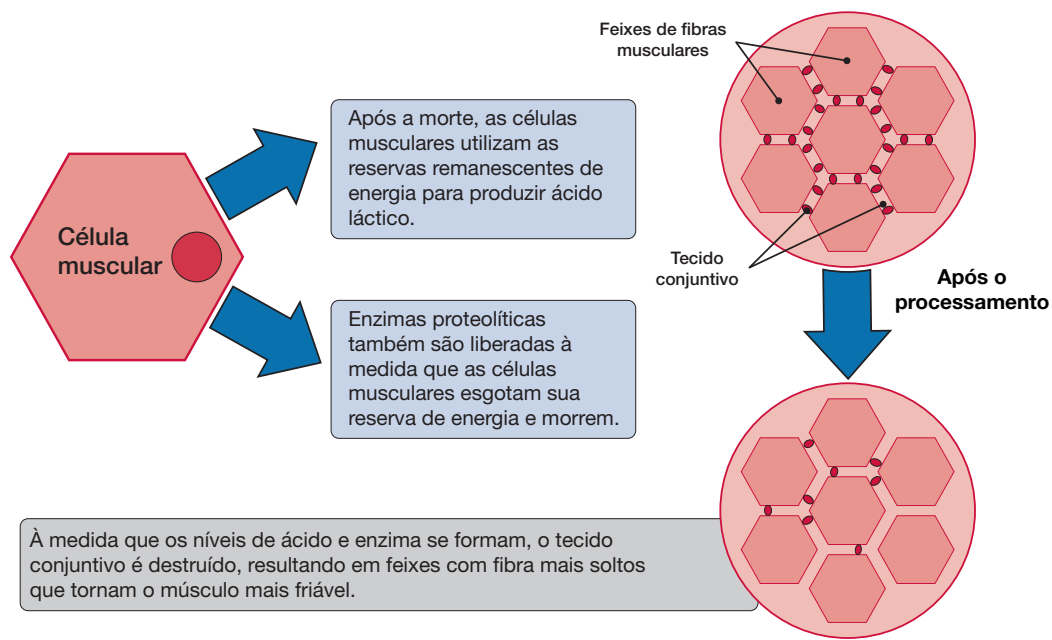
Por definição, as BM são mudanças estruturais associadas ao crescimento e ao desenvolvimento muscular. Processos como pendurar, insensibilizar, sangrar, escaldar e depenar podem alterar a extensão de sua manifestação física. Há pouca ou nenhuma informação disponível sobre os efeitos das correntes elétricas (atordoamento elétrico) ou da atmosfera modificada (atordoamento por gás) nas BM. O início do rigor mortis (rigidez muscular) após o processamento pode ser acelerado pelos métodos de atordoamento e estimulação elétrica. A voltagem (> 200 V), amperagem, frequência de pulso, duração e localização (antes ou após a depenadeira) da estimulação elétrica podem afetar a extensão da lesão muscular (miofibrilas) e a integridade do músculo em decorrência da gravidade das contrações (Sams, 2002). Ainda, as frequentes dificuldades na depenagem relatadas com o uso de gás para atordoamento (rigor acelerado dos músculos das penas) são geralmente compensados pelas temperaturas da escaldadeira mais elevadas e com pressão geral da depenadeira, levando à formação de rasgos no músculo e na pele.

Observou-se que configurações incorretas e/ou a má manutenção dos equipamentos utilizados no processamento aumentam a gravidade e a incidência de SS. Por exemplo, uma comparação entre duas unidades, uma com e outra sem SS, que processavam as aves a partir da mesma base de produção, constatou que a planta com SS alta tinha a temperatura da escalda mais baixa (47°C, 117°F) e uma depenagem mais severa, apertada, conforme indicado pela alta incidência de asas quebradas (tecnopatias).

12.3. Resfriamento da carcaça

O ritmo no qual uma carcaça esfria pode ter um impacto na qualidade da carne, sendo que a atividade metabólica dos músculos continua após a morte. Após a morte, as células musculares continuam quebrando o glicogênio para produzir ácido lático, o que reduz o pH e estimula as enzimas proteolíticas a degradar os componentes estruturais do músculo (tecido conjuntivo), resultando em um amolecimento da carne (**Figura 22**).

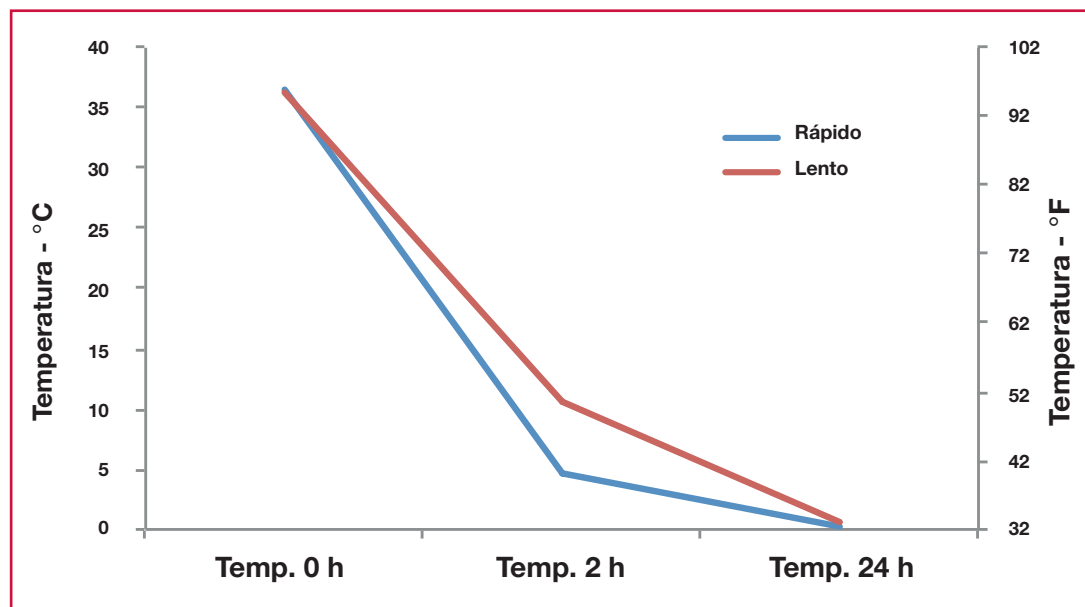
Figura 22. Atividade post mortem das células musculares.



Essa degradação pelo ácido láctico, pelo baixo pH e pelas enzimas proteolíticas só ocorre enquanto o músculo está quente. As temperaturas do músculo profundo tendem a permanecer altas por períodos mais longos durante o resfriamento, especialmente em linhagens de alto rendimento de peito processadas com pesos pesados. Portanto, é importante que a temperatura da carcaça seja reduzida rapidamente para diminuir os danos proteolíticos e a degradação do tecido conjuntivo.

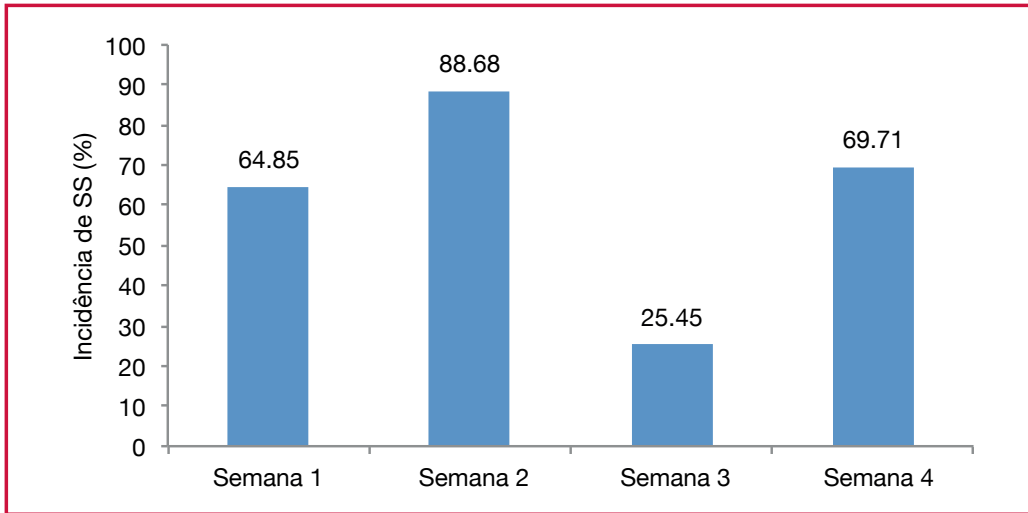
O impacto do resfriamento mais lento da carcaça foi avaliado em um estudo da Aviagen onde duas taxas de resfriamento da carcaça (air chiller) foram analisadas em quatro grupos de frangos de corte, consecutivamente. A **Figura 23** mostra as temperaturas médias obtidas para os dois planos de resfriamento usados para as aves no estudo (a cada semana, as aves foram aleatoriamente divididas em dois grupos: um grupo com resfriamento rápido e outro com resfriamento lento).

Figura 23. Diferença na velocidade de resfriamento da carcaça e a incidência de BM.



Após o processamento e resfriamento, as carcaças foram avaliadas para verificar a incidência de BM; a incidência de WS e WB não foram afetadas pelo plano de resfriamento, mas as SS foram maiores nas aves do plano com resfriamento lento comparativamente às suas congêneres submetidas ao resfriamento rápido (**Figura 24**).

Figura 24. Aumento relativo de incidência de SS nas aves com resfriamento lento.



Estes dados mostram a importância da refrigeração rápida após o processamento para evitar a degradação post mortem do músculo e a possível perda da sua integridade.

13. Apêndices

13.1. Desenho do estudo experimental

Este apêndice fornece uma visão geral do design para qualquer estudo discutido na **Seção 8** que não tenha sido publicado em um periódico revisado por pares. A descrição completa da metodologia do estudo para outros estudos pode ser encontrada em revistas indicadas e publicadas por meio das referências fornecidas.

Estudo 1. Controle alimentar quantitativo

	Controle alimentar quantitativo
Localização	Aviagen Albertville, AL
Estirpe	Ross 708
Sexo	Macho
Período do estudo	0-48 dias
Iluminação	23 L:1 d, 27 lux a 7 d 20 L:4 d, 11 lux 8-48 dias
Dietas	Inicial (1-12 dias, partícula triturada) Crescimento (13-31 dias, pellet) Final (32-40 dias, pellet) Retirada (41-48 dias, pellet) Formulado para garantir ou superar as recomendações da Aviagen. Farelo à base de milho e soja contendo subprodutos para aves e grãos de destilação com produtos solúveis. Todas as aves nos boxes receberam alimentos <i>ad libitum</i> nas primeiras 24 h após serem alojadas.
Tratamentos	Controle: <i>ad libitum</i> Trt 1: 95% da ingestão de controle Trt 2: 90% da ingestão de controle Trt 3: 95% da ingestão de controle até 11 dias e depois <i>ad libitum</i> (Controle precoce)
Registros coletados	Peso corporal e ração: 12, 31, 40 e 48 dias Processamento: 32 e 49 dias Partes da carcaça pesados e peitoral superficial avaliados visualmente e classificados em uma escala de 3 pontos para WS e WB (0 = nenhum, 1 = leve, 2 = grave)






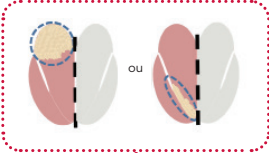

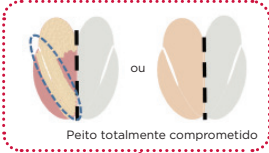
Estudo 2. Controle alimentar qualitativo

Controle alimentar qualitativo																																																																																					
Localização	Aviagen Albertville, AL																																																																																				
Estirpe	Rendimento Plus x Ross 708																																																																																				
Sexo	Macho																																																																																				
Período do estudo	0-62 d																																																																																				
Iluminação	23L:1 d, 25 lux a 7 d 18L:6 d, 10 lux 8-48 d																																																																																				
Dietas	<p>Inicial (1-11 d, partícula triturada) Crescimento (12-28 d, pellet) Final 1 (29-40 d, pellet) Final 2 (41-48 d, pellet) Retirada (49-62 dias; pellet)</p> <p>O controle foi projetado para atender às recomendações de energia e aminoácidos da Aviagen. Farelo à base de milho e soja que contém, em alguns casos, subprodutos para aves e grãos de destilação com produtos solúveis. O farelo de trigo foi incorporado para obter a diluição desejada de nutrientes. Todos os boxes receberam alimentação <i>ad libitum</i>.</p>																																																																																				
Tratamentos	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tratamento</th> <th>Dieta 1</th> <th>Dieta 2</th> <th>Dieta 3</th> <th>Dieta 4</th> <th>Dieta 5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Último dia de alimentação</td> <td>11</td> <td>28</td> <td>40</td> <td>48</td> <td>62</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>Controle</td> <td>Controle</td> <td>Controle</td> <td>Controle</td> <td>Controle</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Baixo</td> <td>Controle</td> <td>Controle</td> <td>Controle</td> <td>Controle</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Baixo</td> <td>Baixo</td> <td>Controle</td> <td>Controle</td> <td>Controle</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Baixo</td> <td>Baixo</td> <td>Baixo</td> <td>Controle</td> <td>Controle</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Baixo</td> <td>Baixo</td> <td>Baixo</td> <td>Baixo</td> <td>Controle</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Controle</td> <td>Baixo</td> <td>Controle</td> <td>Controle</td> <td>Controle</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Controle</td> <td>Baixo</td> <td>Baixo</td> <td>Controle</td> <td>Controle</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>Controle</td> <td>Baixo</td> <td>Baixo</td> <td>Baixo</td> <td>Controle</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>Controle</td> <td>Controle</td> <td>Baixo</td> <td>Controle</td> <td>Controle</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>Controle</td> <td>Controle</td> <td>Baixo</td> <td>Baixo</td> <td>Controle</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>Controle</td> <td>Controle</td> <td>Controle</td> <td>Baixo</td> <td>Controle</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>Baixo</td> <td>Baixo</td> <td>Baixo</td> <td>Baixo</td> <td>Baixo</td> </tr> </tbody> </table> <p>Controle = 100% das especificações nutricionais da Aviagen para aminoácidos e base energética da dieta. BAIXO - 90% das especificações nutricionais da Aviagen para aminoácidos e base energética da dieta.</p>	Tratamento	Dieta 1	Dieta 2	Dieta 3	Dieta 4	Dieta 5	Último dia de alimentação	11	28	40	48	62	1	Controle	Controle	Controle	Controle	Controle	2	Baixo	Controle	Controle	Controle	Controle	3	Baixo	Baixo	Controle	Controle	Controle	4	Baixo	Baixo	Baixo	Controle	Controle	5	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Controle	6	Controle	Baixo	Controle	Controle	Controle	7	Controle	Baixo	Baixo	Controle	Controle	8	Controle	Baixo	Baixo	Baixo	Controle	9	Controle	Controle	Baixo	Controle	Controle	10	Controle	Controle	Baixo	Baixo	Controle	11	Controle	Controle	Controle	Baixo	Controle	12	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
Tratamento	Dieta 1	Dieta 2	Dieta 3	Dieta 4	Dieta 5																																																																																
Último dia de alimentação	11	28	40	48	62																																																																																
1	Controle	Controle	Controle	Controle	Controle																																																																																
2	Baixo	Controle	Controle	Controle	Controle																																																																																
3	Baixo	Baixo	Controle	Controle	Controle																																																																																
4	Baixo	Baixo	Baixo	Controle	Controle																																																																																
5	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Controle																																																																																
6	Controle	Baixo	Controle	Controle	Controle																																																																																
7	Controle	Baixo	Baixo	Controle	Controle																																																																																
8	Controle	Baixo	Baixo	Baixo	Controle																																																																																
9	Controle	Controle	Baixo	Controle	Controle																																																																																
10	Controle	Controle	Baixo	Baixo	Controle																																																																																
11	Controle	Controle	Controle	Baixo	Controle																																																																																
12	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo																																																																																
Registros coletados	<p>Peso corporal e Ração Processamento</p> <p>Componentes da carcaça pesados e peitoral superficial avaliados visualmente e classificados em uma escala de 4 pontos para WS e WB no dia 63 (0 = nenhum, 1 = leve, 2 = moderado, 3 = grave)</p>																																																																																				

13.2. Pontuação de BM

Os diagramas de BM abaixo indicam a localização e da gravidade de algumas das miopatias. *O sistema de pontuação mostrado nesses diagramas é apenas para fins de pesquisa e investigação: as pontuações não mostram os critérios de classificação da carne de peito no abatedouro.*

Peito amadeirado

Pontuação 0 Normal, não parece duro em nenhuma parte do peito.	Pontuação 1 Uma área dura que afeta não mais do que aproximadamente 30% do peito em qualquer área (superior, média ou inferior).	Pontuação 2 Uma área dura encontrada em quaisquer duas partes do peito (superior e média ou média e inferior) ou uma área de dureza que representa aproximadamente 50% a 60% do peito, ou dureza que afeta todo o peito, mas o peito ainda pode ser flexionado em sua parte central.	Pontuação 3 Dureza que afeta toda o peito e com perda de flexibilidade em sua parte central. Em alguns casos, pode haver presença de cor citrina, fluido viscoso e/ou áreas hemorrágicas na superfície.
			
			 Peito totalmente comprometido
Áreas normais do peito mostradas em rosa e áreas afetadas em creme.			

Estriações musculares

Pontuação 0

Normal, sem listras em nenhuma seção do peito.



Pontuação 1

Listras visíveis cobrindo aproximadamente 30% da superfície do peito.



Pontuação 2

Listras finas perceptíveis (<2 mm/0.08 in) que cobrem toda a superfície do peito, ou algumas linhas mais grossas (3-4 mm/ 0.12-0.16 in) que cobrem aproximadamente 40% do peito.



Pontuação 3

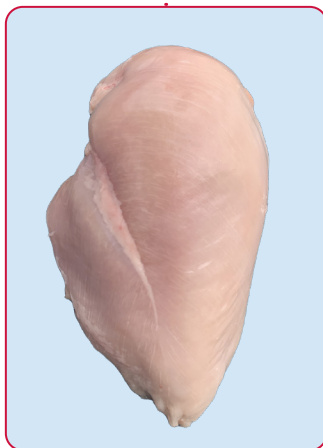
Cobertura extensa do peito com uma mistura de linhas grossas (3-4 mm/0.12-0.16 in) e finas (<2 mm/0.08 in).



Fibrosa e esponjosa

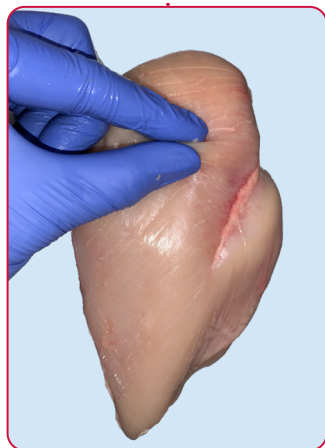
Pontuação 0

Peito normal, sem sinais de esponja fibrosa.



Pontuação 1

Uma área de fibras peitorais abertas que afeta não mais do que aproximadamente 30% do peito em qualquer área (superior, média ou inferior), ou uma área de folga que pode ser comprimida e levantada, representando aproximadamente 40% a 50% da carne do peito.



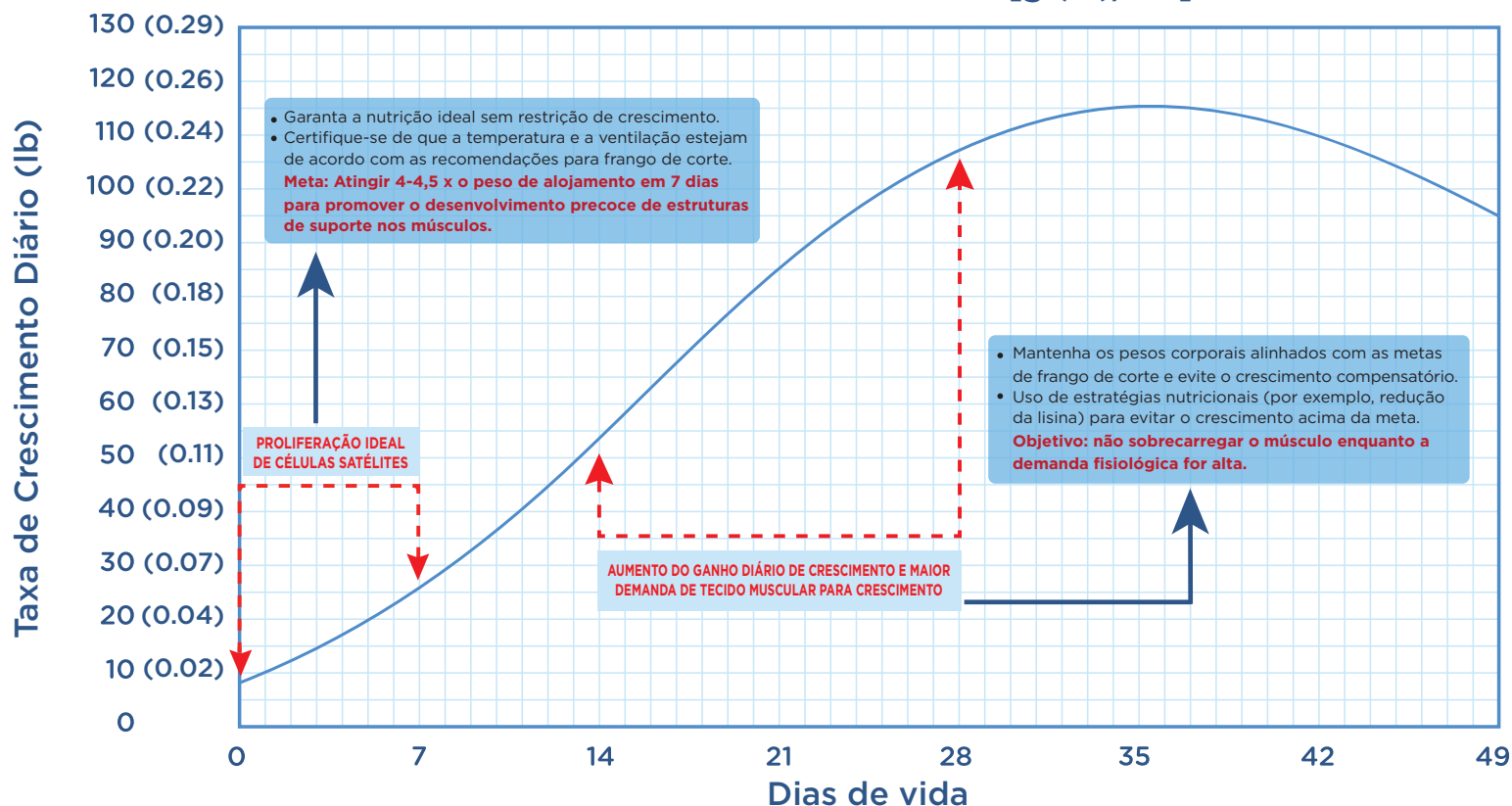
Pontuação 2

Duas áreas do peito que apresentam áreas abertas com fibras expostas, ou uma área que apresenta danos graves com fibras expostas afetando >50% da superfície.



13.3. Taxa de crescimento diário

Taxa de Crescimento Diário [g (lb)/dia]



Garanta condições ideais de incubação para evitar hipóxia e superaquecimento, que podem inibir a embriogênese muscular.

PONTOS-CHAVES DURANTE A VIDA DO LOTE

- Certifique-se de que as aves tenham ventilação adequada para fornecer oxigênio e permitir a dissipação do calor.
- Quando necessário, use perfis de temperatura mais baixos para evitar o superaquecimento.
- Certifique-se de que as aves tenham níveis adequados de antioxidantes, quando necessário.
- Assegurar o equilíbrio adequado de aminoácido, especialmente se estiver seguindo uma dieta vegetal.

PROCESSAMENTO

- Evite o acúmulo de ácido láctico durante o transporte e pré-abate, ventilando as aves adequadamente.
- Certifique-se de que as temperaturas de escaldagem não sejam muito altas, pois isso pode superaquecer o músculo e causar danos.
- Evite a depenagem excessiva, pois isso pode danificar a carne (por exemplo, isso pode ser uma preocupação quando são usadas baixas temperaturas da escaldadeira).
- Garanta o rápido resfriamento da carcaça após o abate para evitar o acúmulo de ácido láctico muscular, que pode destruir o tecido conjuntivo.
- O uso de compostos como o ácido peracético pode afetar o tecido conjuntivo e não deve ser usado em excesso.

Referências

- Bailey RA, Souza E, Avendano S. Characterising the Influence of Genetics on Breast Muscle Myopathies in Broiler Chickens. *Front Physiol.* 2020 Aug 20;11:1041. doi: 10.3389/fphys.2020.01041
- Bailey, R.A., Watson, K.A., Bilgili, S.F., and Avendano, S. (2015). The genetic basis of pectoralis major myopathies in modern broiler chicken lines. *Poult. Sci.*, 94: 2870-2879. <https://doi.org/10.3382/ps/pev304>
- Baker, D.H. and Han, Y. Ideal Amino Acid Profile for Chicks during the First Three Weeks Posthatching. *Poult. Sci.* (1994) 73:1441-1447.
- Baldi, G., Soglia, F., Mazzoni, M., Sirri, F., Canonico, L., Babini, E., Laghi, Cavani, C., and Petracci, M. (2017). Implications of white striping and spaghetti meat abnormalities on meat quality and histological features in broilers. *Animal*, 17: 1 – 10. doi:10.1017/S1751731117001069
- Barnes, H.J., Borst, L.B, Wineland, M.J., Oviedo_Rondon, E.O., and Martin, M.P. (2017). The US Poultry and Egg Association Research Project #691, Factors Contributing to Superficial Pectoral Myodegeneration and Sclerosis (“Wooden Breast”) in Broilers. North Carolina State University. http://www.uspoultry.org/research/resproj/PROJ_691.html
- Berri, C., Debut, M., Santé-Lhoutellier, V., Arnould, C., Boutten, B., Sellier, N., Baéza, E., Jehl, N., Jégo, Y., Duclos, M.J., and Le Bihan-Duval, E. (2005). Variations in chicken breast meat quality: implications of struggle and muscle glycogen content at death. *Brit. Poult Sci.*, 46: 572-579. 10.1080/00071660500303099
- Bilgili, S.G. (2016). Breast muscle abnormalities in broiler chickens. AAAP White Paper. https://aaap.memberclicks.net/assets/Positions/white_paper_on_breast_muscle_abnormalities_in_broiler_chickens.pdf
- Boerboom, G., van Kempen, T., Navarro-Villa, A., and Pérez-Bonilla, A. (2018). Unravelling the cause of white striping in broilers using metabolomics. *Poult. Sci.* Na imprensa. <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pey266>
- Chatterjee, D., Zhuang, H., Bowker, B.C., Rincon, A.M., and Sanchez-Brambila, G. (2016). Instrumental texture characteristics of broiler pectoralis major with the wooden breast condition. *Poult. Sci.*, 95: 2449 – 2454. <https://doi.org/10.3382/ps/pew204>
- Clark, D. L., Strasburg, G. M., Reed, K. M. and Velleman, G. (2017). Influence of temperature and growth selection on turkey pectoralis major muscle satellite cell adipogenic gene expression and lipid accumulation. *Poult. Sci.* 96:1015-1027
- Compassion in World Farming (2016). Declining nutritional value of factory farmed chicken. <https://www.ciwf.com/media/7429726/declining-nutritional-value-of-factory-farmed-chicken.pdf>
- Cordova-Noboa, H. A., Oviedo-Rondon E. O., Sarsour A. H., Barnes J., Lopez D., Gross L., Rademacher-Heilshorn M., Braun U. (2018). Effect of guanidinoacetic acid supplementation on live performance, meat quality, pectoral myopathies, and blood parameters of male broilers fed corn-based diets with or without poultry by-products. *Poult. Sci.* Na imprensa
- Corzo, A., Lee, J., Vargas, J.I., Silva, M., Pacheco, W.J. (2021). Determination of the optimal digestible arginine to lysine ratio in Ross 708 male broilers. *J. Appl. Poult. Res.* 30:100136. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2020.100136>
- Cowieson, A. J., Aureli R., Guggenbuhl P., and Fru-Nji F. (2014). Phytase and myo-inositol: opportunities for enhanced poultry and pig production efficiency. DSM white paper. pp 5
- Dadgar, S., Crowe, T.G., Classen, H.L., Watts, J.M., and Shand, P.J. (2012). Broiler chicken thigh and breast muscle responses to cold stress during simulated transport before slaughter. *Poult. Sci.*, 91: 1454 – 1464. <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01520>
- Dalle Zotte, A., Cecchinato, M., Quartesan, A., Bradanovic, J., Tasoniero, G., and Puolanne E. (2014) How does “Wooden Breast” myodegeneration affect poultry meat quality? *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 22: 476479

- Dalle Zotte, A., Tasoniero, G., Russo, E., Longoni, C., and Cecchinato, M. (2015). Impact of coccidiosis control program and feeding plan on white striping prevalence and severity degree on broiler breast fillets evaluated at three growing ages. *Poult. Sci.*, 94: 2114 – 2123 <https://doi.org/10.3382/ps/pev205>
- Debut, M., Berri, C., Bae'za, E., Sellier, N., Arnould, C., Gué'mene', D., Jehl, N., Boutten, B., Jego, Y., Beaumont, C., and Le Bihan-Duval, E. (2003) Variation of chicken technological meat quality in relation to genotype and preslaughter stress conditions. *Poult. Sci.*, 82: 1829 – 1838
- Desai, M.A., Jackson, V., Zhai, W., Suman, S.P., Nair, M.N., Beach, C.M., and Schilling, M.W. (2016). Proteome basis of pale, soft, and exudative-like (PSE-like) broiler breast (Pectoralis major) meat. *Poult. Sci.*, 95: 2696 – 2706. <https://doi.org/10.3382/ps/pew213>
- Droval, A.A., Benassi, V.T., Rossa, A., Prudencio, S.H., Paião, F.G., and Shimokomaki, M. (2012). Consumer attitudes and preferences regarding pale, soft, and exudative broiler breast meat. *J. of App. Poult. Res.*, 21: 502 – 507. <https://doi.org/10.3382/japr.2011-00392>
- Ferreira, T. Z., Casagrande, R. A., Vieira, S. L., Driemeier, D. and Kindlein, L. (2014). An investigation of a reported case of white striping in broilers. *J. of Appl. Poult. Res.* 23: 748-753. <https://doi.org/10.3382/japr.2013-00847>
- Halevy O., Biran, I., and Rozenboim, I. (1998). Vários tratamentos com fonte de luz afetam o corpo e o crescimento do músculo esquelético, influenciando a proliferação das células satélites do músculo esquelético em frangos de corte. *Comp. Fisiol. Biochem.* 74: 317 – 323. [https://doi.org/10.1016/S1095-6433\(98\)10032-6](https://doi.org/10.1016/S1095-6433(98)10032-6)
- Halevy, O., Geyra, A., Barak, M., Uni, Z., and Sklan, D. (2000). A fome após o início da incubação diminui a proliferação das células satélites e o crescimento do músculo esquelético dos pintinhos. *The J. of Nutrition*, 130: 858 – 864. <https://doi.org/10.1093/jn/130.4.858>
- Harthan, L.B., McFarland, D.C. e Velleman, S.G., (2013). Efeito do estado nutricional e a idade das células satélites na proliferação das células satélites em perus, diferenciação e expressão dos fatores regulatórios de transcrição miogênica e proteoglicanos de sulfato de heparan sindecano-4 e glicano-1. *Poult. Sci.* 93:174–86. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03570>
- Holm, C.G.P., and Fletcher, D.L. (1997). Temperaturas de manutenção ante morte e qualidade da carne do peito dos frangos de corte. *J. of Appl. Poult. Res.*, 6: 180 – 184
- Kuttappan, V.A., Lee, Y.S., Erf, G.F., Meullenet, J.-F.C., McKee, S.R., and Owens, C.M. (2012a). Consumer acceptance of visual appearance of broiler breast meat with varying degrees of white striping. *Poult. Sci.*, 91: 1240 – 1247. <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01947>
- Kuttappan, V. A., Brewer, V. B., Apple, J. K., Waldroup, P. W. and Owens, C. M. (2012b). Influence of growth rate on the occurrence of white striping in broiler breast fillets, *Poult Sci*, 91(10): 2677-85
- Kuttappan, V. A., Brewer, V. B., Mauromoustakos, A., McKee, S. R., Emmert, J. L., Meullenet, J. F. and Owens, C. M. (2012c). Estimation of factors associated with the occurrence of white striping in broiler breast fillets, *Poult Sci*, 92(3); 811-819
- Kuttappan, V. A., Shivaprasad, H. L., Shaw, D. P., Valentine, B. A., Hargis, B. M., Clark, F. D., McKee, S. R. and Owens, C. M. (2012d). Pathological changes associated with white striping in broiler breast muscles, *Poult Sci*, 92(2); 331-338
- Kuttappan, V.A., Goodgame, S.D., Bradley, C.D., Mauromoustakos, A., Hargis, B.M., Waldroup, P.W. e Owens, C.M., (2012e). Effect of different levels of dietary vitamin E (DL- α -tocopherol acetate) on the occurrence of various degrees of white striping on broiler breast fillets. *Poult. Sci.*, 91: 3230-3235. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02397>
- Kuttappan, V.A., Brewer, V.B., Mauromoustakos, A., McKee, S.R., Emmert, J.L., Meullenet, J.F., and Owens, C.M. (2013a). Estimation of factors associated with the occurrence of white striping in broiler breast fillets. *Poult. Sci.*, 92: 811 – 819. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02506>
- Kuttappan, V.A., Huff, G.R., Huff, W.E., Hargis, B.M., Apple, J.K. Coon, C, and Owens, C.M. (2013b). Comparison of hematologic and serologic profiles of broiler birds with normal and severe degrees of white striping in breast fillets. *Poult. Sci.*, 92: 339-345. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02647>

- Kuttappan, V.A., Bottje, W., Ramnathan, R., Hartson, S.D., Coon, C.N., Kong, B.-W., Owens, C.M., Vazquez-Añon, M., and Hargis, B.M. (2017). Proteomic analysis reveals changes in carbohydrate and protein metabolism associated with broiler breast myopathy. *Poult. Sci.* 96: 2992-2999. <https://doi.org/10.3382/ps/pex069>
- Lien, R.J., Bilgili, S.F., Hess, J.B., and Joiner, K.S. (2012). Induction of deep pectoral myopathy in broiler chickens via encouraged wing flapping. *The J. of Appl. Poult. Res.*, 21: 556 – 562. <https://doi.org/10.3382/japr.2011-00441>
- Mann, C. J., Perdiguero, E., Kharraz, Y., Aguilar, S., Pessina, P., Serrano, A.L. e Munoz-Canoves, P., (2011). Aberrant repair and fibrosis development in skeletal muscle. *Skelet. Muscle* 1:21.
- McGovern, R.H., Feddes, J.J.R., Zuidhof, M.J., Hanson, J.A., and Robinson, F.E. (2001). Growth performance, heart characteristics and the incidence of ascites in broilers in response to carbon dioxide and oxygen concentrations. *Can. Biosyst. Eng.*, 43, 41–46
- Meloche, K.J., Fancher, B.I., Emmerson, D.A., Bilgili, S.F. e Dozier, W.A., III (2018a). Effects of quantitative nutrient allocation on myopathies of the Pectoralis major muscles in broiler chickens at 32, 43, and 50 days of age. *Poult. Sci.* 97: 1786 – 1793. <https://doi.org/10.3382/ps/pex453>
- Meloche, K.J., Fancher, B.I., Emmerson, D.A., Bilgili, S.F. e Dozier, W.A., III (2018b). Effects of reduced dietary energy and amino acid density on Pectoralis major myopathies in broiler chickens at 36 and 49 days of age. *Poult. Sci.* 97: 1794 – 1807. <https://doi.org/10.3382/ps/pex454>
- Meloche, K.J., Fancher, B.I., Emmerson, D.A., Bilgili, S.F. e Dozier, W.A., III (2018c). Effects of reduced digestible lysine density on myopathies of the Pectoralis major muscles in broiler chickens at 48 and 62 days of age. *Poult. Sci.*, in press. <https://doi.org/10.3382/ps/pey171>
- Meloche, K.J., Dozier, W.A., Brandebourg, T.J. and Starkey, J.D. (2018d). Skeletal muscle growth characteristics and myogenic stem cell activity in broiler chickens affected by wooden breast. *Poult. Sci.*, in press. <https://doi.org/10.3382/ps/pey287>
- Mudalal, S., Babini, E., Cavani, C., and Petracci, M. (2014). Quantity and functionality of protein fractions in chicken breast fillets affected by white striping. *Poult. Sci.*, 93: 2108 – 2116 <https://doi.org/10.3382/ps.2014-03911>
- Mudalal, S., Lorenzi, M., Soglia, F., and Cavani, C. (2015.) Implications of white striping and wooden breast abnormalities on quality traits of raw and marinated chicken meat. *Animal*, 9: 728 – 734. <https://doi.org/10.1017/S175173111400295X>
- Mutryn, M.F., Brannick, E.M, Fu, W., Lee W.R., and Abasht, B. (2015). Characterization of a novel chicken muscle disorder through differential gene expression and pathway analysis using RNA-sequencing. *BMC Genomics* 16:399. <https://doi.org/10.1186/s12864-015-1623-0>
- Noy, Y., and Sklan, D. (1997). Posthatch development in poultry. *J. Appl. Poult. Res.*, 6:344-354
- Olanrewaju, H.A., Dozier III, W.A., Purswell, J.L., Branton, S.L., Miles, D.M., Lott, B.D., Pescatore, A.J., and Thraxton, J.P. (2008). Growth performance and physiological variables for broiler chickens subjected to short-term elevated carbon dioxide concentrations. *Int. J. of Poult. Sci.*, 7: 738 – 742
- Petracci, M., Mudalal, S., Bonfiglio, A., and Cavani, C. (2013.) Occurrence of white striping under commercial conditions and its impact on breast meat quality in broiler chickens. *Poult. Sci.* 92: 1670-1675. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-03001>
- Petracci, M., Mudalal, S., Babini, E., and Cavani, C. (2014). Effect of White Striping on Chemical Composition and Nutritional Value of Chicken Breast Meat. *It. J. of Anim. Sci.*, 13: 179 – 183. <https://doi.org/10.4081/ijas.2014.3138>
- Pietsun, Y., Harel, M., Barak, M., Yahav, S., and Halevy, O. (2009). Thermal Manipulations in late-term chick embryos have immediate and longer term effects on myoblast proliferation and skeletal muscle hypertrophy. *J. Appl. Physiol.* 106:233-240
- Powell, D. J., D. C. McFarland, A. J. Cowieson, W. I. Muir, S. G. Velleman. 2014. The effect of nutritional status on myogenic gene expression of satellite cells derived from different muscle types. *Poult Sci.* 93:2278-2288
- Radaelli, G., Piccirillo, A., Birolo, M., Bertotto, D., Gratta, F., Ballarin, C., Vascellari, M., Xiccato, G., and Trocino, A. (2016). Effect of age on the occurrence of muscular fiber degeneration associated with myopathies in broiler chickens submitted to feed restriction. *Poult. Sci.*, 96: 309 – 319. <https://doi.org/10.3382/ps/pew270>

- Rozenboim, I., Biran, I., Uni, Z., Robinzon, B., and Halevy, O. (1999). The effect of monochromatic light on broiler growth and development, *Poult. Sci.*, 78: 135 – 138
- Rozenboim, I., Pietsun, Y., Mobarkey, N., Hoyzman, A., and Halevy, O. (2004). Monochromatic light stimuli during embryogenesis enhance embryo development and posthatch growth. *Poultry Science* 83:1413-1419
- Sams, A. R. (2002). Post-mortem electrical stimulation of broilers. *World's Poult. Sci.*, 58: 147-157
- Sandercock, D.A., Hunter, R.R., Mitchell, M.A., and Hocking, P.M. (2006). Thermoregulatory capacity and muscle membrane integrity are compromised in broilers compared with layers at the same age or body weight. *Brit. Poult. Sci.*, 47: 322 – 329. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00545296>
- Sihvo, H. K., Immonen, K. and Puolanne, E. (2013) 'Myodegeneration with fibrosis and regeneration in the pectoralis major muscle of broilers', *Vet Pathol*, 51(3), pp. 619-23
- Simões, G.S., Oba, A., Matsuo, T., Rossa, A., Shimokomak, M., and Ida, E.I. (2009) Vehicle thermal microclimate evaluation during Brazilian summer broiler transport and the occurrence of PSE (Pale, Soft, Exudative) meat. *Braz. Arch. Of Biol. And Technol.*, 52: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-89132009000700025>
- Soglia, F., Mudalal, S., Babini, E., Di Nunzio, M., Mazzoni, M., Sirri, F., Cavani, C., and Petracci, M. (2015). Histology, composition, and quality traits of chicken Pectoralis major muscle affected by wooden breast abnormality. *Poult. Sci.*, 95: 651 + 659. <https://doi.org/10.3382/ps/pev353>
- Tasoniero, G., Cullere, M., Cecchinato, M., Puolanne, E., and Dalle Zotte, A. (2016). Technological quality, mineral profile, and sensory attributes of broiler chicken breasts affected by White Striping and Wooden Breast myopathies. *Poult. Sci.*, 95: 2707 – 2714. <https://doi.org/10.3382/ps/pew215>
- Trocino, A., Piccirillo, A., Birolo, M., Radaelli, G., Bertotto, D., Filiou, E., Petracci, M., and Xiccato, G. (2015). Effect of the genotype, gender and feed restriction on growth, meat quality, and the occurrence of white striping and wooden breast in broiler chickens. *Poult. Sci.* 94:2996–3004
- York, T. W, Bedford, M.R. e Walk, C.L (2016). Trace minerals-what role should they play in today's poultry industry with respect to fast growth rate and woody breast? In: C.L Walk et.al. (ed.) *Phytate destruction-consequences for precision animal nutrition*, Wageningen Academic Publishers, p. 251-266
- Velleman, S.G., Nestor, K.E., Coy, C.S., Harford, I. e Anthony, N.B., (2010). Effect of posthatch feed restriction on broiler breast muscle development and muscle transcriptional regulatory factor gene and heparan sulfate proteoglycan expression. *Int. J. Poult. Sci.* 9:417–425
- Velleman, S.G., Coy, C.S. e Emmerson, D.A. (2014). Effect of the timing of posthatch feed restrictions on broiler breast muscle development and muscle transcriptional regulatory factor gene expression. *Poult. Sci.*, 93:1484 – 1494. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03813>
- Verhoelst, E., De Ketelaere, B., Decuypere, E. and De Baerdemaeker, J., (2011) The Effect of Early Prenatal Hypercapnia on the Vascular Network in the Chorioallantoic Membrane of the Chicken Embryo. *Biotechnol. Prog.*, 27:562-570
- Zahoor, I., Mitchell, M.A., Hall, S., Beard, P.M., Gous, R.M., De Koning, D.J., and Hocking, P.M. (2016). Predicted optimum ambient temperatures for broiler chickens to dissipate metabolic heat do not affect performance or improve breast muscle quality. *Brit. Poult. Sci.*, 57: 134 – 141. <https://doi.org/10.1080/00071668.2015.1124067>
- Zambonelli, P., Zappaterra, M., Soglia, F., Petracci, M., Sirri, F., Cavani, C., and Davoli, R. (2016). Detection of differentially expressed genes in broiler pectoralis major muscle affected by White Striping – Wooden Breast myopathies. *Poult. Sci.*, 95: 2771 – 2785. <https://doi.org/10.3382/ps/pew268>
- Zimmerman, et al (2012)



A Aviagen e o logotipo da Aviagen são marcas registradas da Aviagen nos EUA e em outros países. Todas as outras marcas registradas ou nomes comerciais foram registrados pelos seus respectivos proprietários.
© 2023 Aviagen

Política de Privacidade: a Aviagen coleta dados para comunicar e fornecer informações sobre os nossos produtos e nossa linha de negócios. Estes dados podem incluir seu endereço de e-mail, nome, endereço comercial e número de telefone. Para ler a nossa política de privacidade completa, visite <http://en.aviagen.com/privacy-policy/>