

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**CARACTERIZAÇÃO DO *RIGOR MORTIS* E QUALIDADE DA
CARNE DE COELHOS BOTUCATU EM FUNÇÃO DO TEMPO
DE REFRIGERAÇÃO DAS CARCAÇAS**

Daniel Rodrigues Dutra

Zootecnista

2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**CARACTERIZAÇÃO DO *RIGOR MORTIS* E QUALIDADE DA
CARNE DE COELHOS BOTUCATU EM FUNÇÃO DO TEMPO
DE REFRIGERAÇÃO DAS CARCAÇAS**

Daniel Rodrigues Dutra

Orientadora: Profa. Dra. Hirasilva Borba

Coorientadores: Prof. Dr. Leandro Dalcin Castilha

Dr. Fábio Borba Ferrari

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

D978c Dutra, Daniel Rodrigues
Caracterização do rigor mortis e qualidade da carne de coelhos
Botucatu em função do tempo de refrigeração das carcaças / Daniel
Rodrigues Dutra. -- Jaboticabal, 2023
157 p. : tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientadora: Hirasilva Borba
Coorientador: Leandro Dalcin Castilha
Coorientador: Fábio Borba Ferrari

1. Carne de coelho. 2. Alimentos de Origem Animal. 3. Carcaças. 4.
Alimentos Composição. 5. Carne congelada. I. Título.

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

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

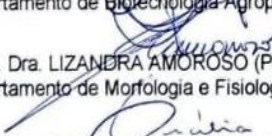
TÍTULO DA TESE: CARACTERIZAÇÃO DO *rigor mortis* E QUALIDADE DA CARNE DE COELHOS
BOTUCATU EM FUNÇÃO DO TEMPO DE REFRIGERAÇÃO DAS CARÇAÇAS

AUTOR: DANIEL RODRIGUES DUTRA
ORIENTADORA: HIRASILVA BORBA
COORIENTADOR: FÁBIO BORBA FERRARI
COORIENTADOR: LEANDRO DALCIN CASTILHA

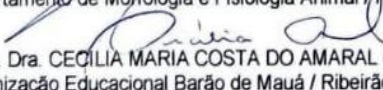
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Zootecnia, pela Comissão
Examinadora:



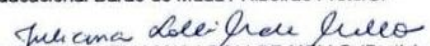
Profa. Dra. HIRASILVA BORBA (Participação Presencial)
Departamento de Biotecnologia Agropecuária e Ambiental / FCAV UNESP Jaboticabal



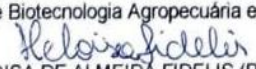
Profa. Dra. LIZANDRA AMOROSO (Participação Presencial)
Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal / FCAV UNESP Jaboticabal



Profa. Dra. CECÍLIA MARIA COSTA DO AMARAL (Participação Presencial)
Organização Educacional Barão de Mauá / Ribeirão Preto/SP



Pós-doutoranda JULIANA LOLI MALAGOLI DE MELLO (Participação Presencial)
Departamento de Biotecnologia Agropecuária e Ambiental / FCAV UNESP Jaboticabal



Profa. Dra. HELOISA DE ALMEIDA FIDELIS (Participação Presencial)
Autônoma / Ribeirão Preto/SP

Jaboticabal, 05 de junho de 2023

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Daniel Rodrigues Dutra, filho de Lair Tadeu Dutra e Rita Maria Rodrigues da Silva, nasceu em 09 de junho de 1984, na cidade de Juiz de Fora, MG. Em 2003, ingressou no curso de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), onde deu início aos seus estudos na área de Produção de Monogástricos, com foco em Ciência e Tecnologia dos Alimentos. Graduiu-se em 2008, recebendo o título de Zootecnista pela referida Instituição. Após um período de oito meses como trainee na The Ohio State University (2008), na área de Produção de Suínos, ingressou no Programa de Pós-graduação da Universidade Federal de Lavras (UFLA) em 2009. Foi bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), recebendo, em 2011, o título de Mestre em Ciências Veterinárias, com ênfase em Produção de Monogástricos. Em 2012, iniciou seu Doutorado na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista (FCAV/UNESP), onde participou de projetos na área de Bem-estar Animal, Manejo Pré-abate e Qualidade dos Alimentos. Após uma pausa no Doutorado, deu sequência a sua carreira profissional como Analista de Laboratório e Especialista em Biotecnologia Animal nos EUA e no Canadá, onde residiu por quatro anos. Em 2019, retornou ao Brasil e ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia da FCAV/UNESP, como bolsista do Conselho Nacional Científico e Tecnológico (CNPq), desenvolvendo pesquisas na área de Tecnologia dos Produtos de Origem Animal e Bem-estar Animal, onde assumiu por três semestres a disciplina de Cunicultura. Em 2022, tornou-se membro da presidência da Associação Científica Brasileira de Cunicultura (ACBC). Por fim, em julho de 2023, submeteu-se à defesa de tese para obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

“Pain has a way of clipping our wings and keeping us from being able to fly, and if left unresolved you can almost forget that you were ever created to fly in the first place.”

— William Paul Young, *The Shack*

“Sucesso não é o final.
O fracasso não é fatal.
Mas a coragem de continuar,
isso é o que conta.”

— Winston Churchill

DEDICO

À Deus, em primeiro lugar, por ser fazer tão real e presente em minha vida. Por sempre direcionar os meus passos e permitir que eu realizasse mais um dos meus maiores sonhos.

À minha mãe, Rita, que dedicou a sua vida à minha formação pessoal, acadêmica e profissional. Você é meu exemplo, minha força e peça fundamental nessa conquista.

Ao meu companheiro de vida, Taison, pelo seu incentivo, apoio incondicional e resiliência ao longo dessa jornada. Aquele que soma, fortalece, ensina e me faz evoluir a cada dia.

Ao meu pai, Tadeu, meu irmão, Davi, e todos os meus familiares, que são meu alicerce e as verdadeiras testemunhas de todo o amor que sempre dediquei aos amigos coelhos.

E, em especial, ao meu tio, Edimar (in memoriam), que com sua precoce partida nos permitiu ressignificar tanto em tão pouco tempo.

Amo vocês com todo o meu coração!!!



AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista, pela dupla oportunidade concedida para realização do Doutorado.

A todos os profissionais do Conselho Nacional Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de Doutorado, mas, sobretudo, por resistirem e persistirem acreditando que não há avanço e desenvolvimento em nosso país sem Ciência e Tecnologia. Em nome de toda a comunidade científica eu agradeço.

À minha orientadora e amiga, Profa. Hirasilva Borba. Obrigado pela confiança na condução deste e de tantos outros projetos, os quais me ajudaram a consolidar minha trajetória acadêmica e profissional, fazendo-me lembrar que todo sonho é capaz de se tornar realidade quando há dedicação, empenho e perseverança. Me faltam palavras para expressar o quanto lhe sou grato e o quanto aprendi durante esses quatro anos no LaOra. Posso dizer que ali somos muito mais do que membros da mesma equipe, somos família.

Ao meu amigo e parceiro de trabalho, Erick Villegas Cayllahua, que conseguiu, com brilhantismo, alcançar a essência das nossas ideias e colocá-las em prática. Definitivamente, sua colaboração, suporte e amizade foram fundamentais para o desenvolvimento desta e tantas outras pesquisas que realizamos com nossos amigos orelhudos.

À minha amiga e duplamente colega de profissão, Juliana Lolli, por todo o conhecimento transmitido, orientações e pelo seu profissionalismo admirável que fizeram com que minha adaptação no laboratório fosse muito mais rápida do que eu imaginara. Foi tudo uma questão de logística.

A todos os membros atuais e aqueles que já passaram pelo LaOra: Fábio, Érika, Helô, Ana Verônica, Mateus, Roko, Boizinho, Aline, Amanda, Andresa, Gabi, Fran, Mainara, Prof. Pedro, Nívea, Romário, Giovanna, Lucas, Thamiris, Samara, Rebecca, Isa e todos os demais estagiários que estiveram envolvidos, o meu muito obrigado pela dedicação e companheirismo nesses anos de trabalho. A participação de cada um de vocês foi extremamente importante para que realizássemos um trabalho de qualidade.

Ao Professor Leandro Dalcin Castilha e toda a sua equipe, estudantes e profissionais da Fazenda Experimental de Iguatemi da Universidade Estadual de Maringá, pelo envolvimento, comprometimento e profissionalismo na execução da primeira etapa deste projeto e nos consecutivos estudos desenvolvidos. Em especial, por sua orientação bem presente e suas palavras de otimismo, desde os nossos primeiros contatos até os dias atuais.

Às funcionárias e amigas do Departamento de Biotecnologia Agropecuária e Ambiental que levo pra vida, Andreia e Maria Clara, que sempre nos apoiaram com tamanho carinho e proatividade. Vocês são incríveis.

Ao frigorífico Coelho Real, aqui representado pelo Dr. Marcos Kac, que desde a idealização deste projeto sempre contribuiu de forma ímpar para a sua execução.

Aos pesquisadores Filipe Dalla Costa, Osmar Dalla Costa e Troy Gibson pela parceria e colaboração direta na execução da primeira parte deste projeto, aqui não apresentada, mas que certamente contribuirá para o avanço da cunicultura brasileira em outras oportunidades.

Aos amigos que fiz no Texas, os quais sempre torceram por mim no meu regresso ao Brasil, especialmente, Juliana e Tatiane, amigas-irmãs que a vida me presenteou para o resto dos meus dias, e que, mesmo distante, acompanharam minha trajetória acadêmica e torceram para o desfecho exitoso deste doutoramento.

E por fim, mas não menos importante, Isabel e Talita Penariol por terem permanecido ao meu lado nessa jornada incrível, juntamente com nosso caçulinha Nutella, sobretudo nos longos meses de reclusão e incertezas que nos acercavam em meio à pandemia da COVID-19. Juntos nos fortalecemos, aprendemos e sobrevivemos.

A todos vocês, minha mais sincera gratidão.

SUMÁRIO

RESUMO.....	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE ABREVIATURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
CAPÍTULO 1 – Considerações gerais.....	1
Sumário	1
Resumo	1
Palavras-chave.....	2
Introdução	2
Panorama da cunicultura de corte no Brasil.....	4
Mercado nacional e mundial da carne de coelho	5
Benefícios da carne de coelho e suas propriedades funcionais	11
Qualidade da carne de coelho.....	14
pH e sua relação com as demais propriedades físico-químicas da carne....	16
Resfriamento das carcaças e parâmetros tecnológicos da carne de coelho.....	18
Congelamento das carcaças e parâmetros tecnológicos da carne de coelho...	20
<i>Rigor mortis</i> e metabolismo muscular <i>post-mortem</i>	22
Encurtamento pelo frio e rigor de descongelamento	27
Conclusões.....	29
Referências	29
CAPÍTULO 2 – Caracterização da evolução do pH muscular <i>post-mortem</i> e do processo de <i>rigor mortis</i> em carcaças de coelhos Botucatu de diferentes categorias.....	47
Resumo	47

Palavras-chave.....	47
Introdução	47
Material e métodos.....	49
Resultados e discussão.....	53
Conclusões.....	76
Referências	77
CAPÍTULO 3 – Influência do tempo de resfriamento das carcaças sobre a progressão do <i>rigor mortis</i> , características de carcaça e propriedades físico-químicas relacionadas à cor e maciez dos músculos <i>longissimus thoracis et lumborum</i> e <i>biceps femoris</i> em coelhos Botucatu	
Resumo	84
Palavras-chave.....	84
Introdução	84
Material e métodos.....	86
Resultados e discussão.....	91
Conclusões.....	117
Referências	117
CAPÍTULO 4 – Influência do congelamento prolongado de carcaças nos estágios pré e pós <i>rigor mortis</i> sobre os parâmetros tecnológicos e nutricionais do músculo <i>longissimus lumborum</i> de coelhos Botucatu	
Resumo	127
Palavras-chave.....	127
Introdução	128
Material e métodos.....	129
Resultados	135
Discussão	142

Conclusões.....	148
Referências	149



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Jaboticabal



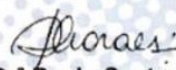
CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CERTIFICADO

Certificamos que o projeto de pesquisa intitulado **"Caracterização da evolução do pH durante o processo de rigor mortis e a influência do tempo de resfriamento das carcaças sobre a qualidade da carne de coelhos Botucatu"**, protocolo nº 1924/22, sob a responsabilidade da Profª Drª Hirasilva Borba, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao Filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da lei nº 11.794, de 08 de outubro de 2008, no decreto 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), da FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS, UNESP - CÂMPUS DE JABOTICABAL-SP, em reunião ordinária de 18 de maio de 2022.

Vigência do Projeto	01/07/2022 a 31/12/2024
Espécie / Linhagem	Coelhos domésticos (<i>Oryctolagus cuniculus</i>) Linhagem Botucatu
Nº de animais	280
Peso / Idade	3,0 kg / 90 dias
Sexo	Macho e fêmea
Origem	Setor de Cunicultura da FCAV/UNESP

Jaboticabal, 18 de maio de 2022.


Profª Drª Paola Castro Moraes
Vice-Coordenadora – CEUA

CARACTERIZAÇÃO DO *RIGOR MORTIS* E QUALIDADE DA CARNE DE COELHOS BOTUCATU EM FUNÇÃO DO TEMPO DE REFRIGERAÇÃO DAS CARCAÇAS

RESUMO – A indústria cunícula brasileira tem vivenciado recentes transformações em seus processos produtivos, assim como a implementação de novas raças e linhagens de aptidão cárnea aos plantéis nacionais. No entanto, muitos dos abatedouros de coelhos têm congelado as carcaças ainda quentes sem que sejam conhecidas as implicações deste procedimento sobre a qualidade do produto final. Diante desse cenário, este estudo teve como objetivos determinar a evolução do pH muscular e caracterizar o processo de *rigor mortis* em coelhos do grupo genético Botucatu durante as primeiras 24h *post-mortem*, avaliar a influência do tempo de resfriamento das carcaças sobre as propriedades físico-químicas de seus principais cortes e registrar as possíveis alterações na qualidade dessa carne ao longo do congelamento prolongado. Para tanto, foi elaborado um levantamento bibliográfico e mais três ensaios experimentais distribuídos em um total de quatro capítulos. No Capítulo 1, são apresentadas as considerações gerais sobre a temática abordada, expressas na forma de uma revisão de literatura narrativa. No Capítulo 2, é apresentado o ensaio I, onde foram avaliados os efeitos do sexo, idade e músculos sobre a evolução do pH nas primeiras 24h *post-mortem* e o tempo necessário ao estabelecimento e resolução do *rigor mortis*. Já no Capítulo 3, é apresentado o ensaio II, onde foi avaliada a influência de oito diferentes tempos de resfriamento das carcaças sobre as propriedades físico-químicas dos músculos *longissimus thoracis et lumborum* e *biceps femoris* de coelhos machos e fêmeas. Por fim, no Capítulo 4, é apresentado o ensaio III, onde foi avaliado o efeito do congelamento das carcaças nas fases pré e pós rigor sobre a qualidade da carne durante 12 meses de armazenamento. Coelhos Botucatu em fase reprodutiva são mais pesados que aqueles mais jovens abatidos aos 90 dias de idade, refletindo em maior peso e rendimento de carcaça, , assim como idade, sexo e tipo de músculo influenciam a taxa de acidificação muscular *post-mortem*. A combinação desses fatores determina o estabelecimento do rigor às 5h *post-mortem* em coelhos jovens e reprodutores e às 6h *post-mortem* em matrizes, concomitantemente à estabilização do pH muscular, resultando em sua resolução às 18h *post-mortem*. A carne *in natura* no pré-rigor é menos avermelhada e possui maior maciez e teor de umidade do que no pós-rigor. No entanto, ao serem congeladas no pré-rigor, desenvolvem rigor de descongelamento, conferindo maior dureza à carne. Já o armazenamento prolongado das carnes congeladas em ambos os estágios do rigor promove seu amaciamento, com preservação de sua qualidade física, química e nutricional por até 12 meses, porém, com sutis alterações de cor, maior acidez e perdas em umidade e minerais. Portanto, recomenda-se, que as carcaças sejam resfriadas por 18h ininterruptas a 4°C, para que a transformação dos músculos em carne ocorra eficientemente, conferindo menores perdas de peso, maiores rendimentos de carcaça, brilho e maciez à carne de coelhos Botucatu.

Palavras-chave: armazenamento, ciência da carne, cunicultura, maciez, qualidade dos alimentos, tecnologia dos produtos de origem animal

CHARACTERIZATION OF *RIGOR MORTIS* AND MEAT QUALITY OF BOTUCATU RABBITS DUE TO THE CARCASSES REFRIGERATION TIME

ABSTRACT – Brazilian rabbit meat industry has experienced recent transformations in its production processes, as well as the implementation of new breeds and genetic lines with meat aptitude into national plants. However, many of the rabbit slaughterhouses have been freezing hot carcasses without knowing such implications to the quality of the final product. Given this scenario, the objectives of this study were to determine the evolution of muscle pH and the *rigor mortis* process in Botucatu genetic group rabbits during the first 24h *post-mortem*, in order to evaluate the influence of carcass chilling time on the physicochemical properties of the main cuts and characterize the possible changes in meat quality along the long-term freezing. To this end, a bibliographic review was conducted as theoretical foundation applied to the study itself and three experimental assays were performed, distributed in a total of four chapters. In Chapter 1, general considerations are presented in a narrative literature review about the addressed theme. In Chapter 2, assay I is presented, where the effects of sex, age and muscles on the evolution of pH were evaluated in the first 24hours *post-mortem* and the time necessary for the establishment and resolution of *rigor mortis* according to the animal category. In Chapter 3, assay II is presented, where the influence of eight different times of carcass air chilling on the physicochemical properties of the *longissimus thoracis et lumborum* and *biceps femoris* of male and female rabbits. In Chapter 4, assay III is presented, where the effect of pre- and post-rigor freezing on meat quality was evaluated throughout 12 months of long-term storage. Botucatu rabbits in reproductive phase are heavier than the younger ones commonly slaughtered at 90 d of age, which ends up reflecting in higher weight and carcass yield. As well as age, gender and type of muscle directly influence the process of *post-mortem* muscle acidification. The combination of these factors determines the *rigor mortis* completion at 5h *post-mortem* in young and sire rabbits and at 6h *post-mortem* in does, concomitantly with the stabilization of muscle pH, resulting in its resolution at 18h *post-mortem*. Fresh pre-rigor meat is less reddish, with more tenderness and moisture content than post-rigor meat. However, when pre-rigor meat is frozen, thawing rigor is developed, giving a higher degree of hardness to the meat. Full-term storage of meat frozen in both rigor phases promotes its tenderness, preserving its physical, chemical and nutritional quality up to 12 mo, perhaps, with subtle changes in color, greater acidity and loss of moisture and minerals. Thus, is recommended that carcasses would be chilled for uninterrupted 18h at 4°C, so that the transformation of muscles into meat will occur efficiently, providing less weight losses, higher carcass yield and greater tenderness and brightness to the Botucatu rabbit meat

Keywords: storage, meat science, cuniculture, tenderness, food quality, technology of animal products

LISTA DE ABREVIATURAS

a*	Intensidade de vermelho
b*	Intensidade de amarelo
BF	<i>Biceps femoris</i>
C*	Índice de saturação Chroma
CRA	Capacidade de retenção de água
CS	Comprimento de sarcômero
EPM	Erro padrão da média
FC	Força de cisalhamento
FR	Fase do <i>rigor mortis</i>
IFM	Índice de fragmentação miofibrilar
L*	Luminosidade
LL	<i>Longissimus lumborum</i>
LTL	<i>Longissimus thoracis et lumborum</i>
MDA	Malonaldeído
PCD	Peso da carcaça descongelada
PCF	Peso de carcaça fria
PCQ	Peso de carcaça quente
PPC	Perda de peso por cozimento
PPD	Perda de peso por descongelamento
PPR	Perda de peso por resfriamento
pH	Potencial hidrogeniônico
PV	Peso vivo
RCF	Rendimento de carcaça fria
RCQ	Rendimento de carcaça quente
TBARS	Teste de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico
TC	Tempo de congelamento das carcaças
VEPD	Volume exsudato pós-descongelamento

LISTA DE TABELAS

	Página
Capítulo 1	
Tabela 1. Comparativo dos índices mais recentes de produção registrados para coelhos (2020) e para diferentes espécies monogástricas criadas e comercializadas no Brasil (2021).....	7
Capítulo 2	
Tabela 1. Médias (range) dos valores de PV, PCQ, PCF, RCQ, RCQ, RCF e PPR para carcaças de coelhos Botucatu em função da idade ao abate e do sexo.....	53
Tabela 2. Desdobramento da interação entre idade de abate e sexo para PV, PCQ e PCF em coelhos Botucatu.....	55
Tabela 3. Evolução do pH ($\pm$ EPM) durante as primeiras 24h <i>post-mortem</i> nos músculos <i>longissimus lumborum</i> e <i>biceps femoris</i> de coelhos Botucatu machos e fêmeas abatidos em diferentes idades.....	57
Tabela 4. Evolução do pH ($\pm$ EPM) de hora em hora nas primeiras 24h <i>post-mortem</i> entre os músculos <i>longissimus lumborum</i> e <i>Biceps femoris</i> de coelhos Botucatu em duas diferentes idades de abate.....	62
Tabela 5. Frequência (%) de coelhos Botucatu que apresentaram flexão da articulação tiobiotársica em função do tempo <i>post-mortem</i> para cada categoria avaliada.....	73
Capítulo 3	
Tabela 1. Médias ($\pm$ EPM) dos valores para PCQ de coelhos Botucatu abatidos aos 90 dias de idade em função do sexo.....	93
Tabela 2. Médias ($\pm$ EPM) dos valores de PCF, PCD, PCF, PPR, PPD,	

VEPD e pH do LTL e do BF para coelhos Botucatu em função do sexo e do tempo de resfriamento das carcaças.....	94
Tabela 3. Médias ($\pm$ EPM) dos valores de luminosidade (L^*), intensidade de vermelho (a^*) e intensidade de amarelo (b^*) nas superfícies dorsal e ventral do músculo <i>longissimus thoracis et lumborum</i> de coelhos Botucatu em função do sexo e do tempo de resfriamento das carcaças durante as primeiras 24h <i>post-mortem</i>	100
Tabela 4. Desdobramento ($\pm$ EPM) da interação entre sexo e tempo de resfriamento das carcaças para a intensidade de vermelho (a^*) na superfície dorsal do músculo <i>longissimus thoracis et lumborum</i> em coelhos Botucatu.....	101
Tabela 5. Médias ($\pm$ EPM) dos valores de pH final após o descongelamento (pHf), perda de peso por cocção (PPC) e capacidade de retenção de água (CRA) do músculo <i>longissimus thoracis et lumborum</i> de coelhos Botucatu em função do sexo e do tempo de resfriamento das carcaças durante as primeiras 24h <i>post-mortem</i>	104
Tabela 6. Desdobramento ($\pm$ EPM) da interação entre sexo e tempo de resfriamento das carcaças para pH final após o descongelamento (pHf) do músculo <i>longissimus thoracis et lumborum</i> em coelhos Botucatu.....	105
Tabela 7. Médias ($\pm$ EPM) dos valores de força de cisalhamento (FC), índice de fragmentação miofibrilar (IFM) e comprimento de sarcômero (CS) do músculo <i>longissimus thoracis et lumborum</i> de coelhos Botucatu em função do sexo e do tempo de resfriamento das carcaças durante as primeiras 24h <i>post-mortem</i>	105
Tabela 8. Médias ($\pm$ EPM) dos valores de luminosidade (L^*), intensidade de vermelho (a^*) e intensidade de amarelo (b^*) nas superfícies	

dorsal e ventral do músculo <i>biceps femoris</i> de coelhos Botucatu em função do sexo e do tempo de resfriamento das carcaças durante as primeiras 24h <i>post-mortem</i>	109
Tabela 9. Desdobramento ($\pm$ EPM) da interação entre sexo e tempo de resfriamento das carcaças para a intensidade de vermelho (a^*) e intensidade de amarelo (b^*) na superfície dorsal do músculo <i>biceps femoris</i> em coelhos Botucatu.....	110
Tabela 10. Médias ($\pm$ EPM) dos valores de pH final após o descongelamento (pHf), perda de peso por cocção (PPC) e capacidade de retenção de água (CRA) do músculo <i>biceps femoris</i> de coelhos Botucatu em função do sexo e do tempo de resfriamento das carcaças durante as primeiras 24h <i>post-mortem</i>	111
Tabela 11. Desdobramento ($\pm$ EPM) da interação entre sexo e tempo de resfriamento das carcaças para o pH final após o descongelamento (pHf) do músculo <i>biceps femoris</i> em coelhos Botucatu.....	113
Tabela 12. Médias ($\pm$ EPM) dos valores de força de cisalhamento (FC), índice de fragmentação miofibrilar (IFM) e comprimento de sarcômero (CS) do músculo <i>biceps femoris</i> de coelhos Botucatu em função do sexo e do tempo de resfriamento das carcaças durante as primeiras 24h <i>post-mortem</i>	113
Tabela 13. Desdobramento ($\pm$ EPM) da interação entre sexo e tempo de resfriamento das carcaças para o comprimento de sarcômero (CS) do músculo <i>biceps femoris</i> em coelhos Botucatu.....	115

Capítulo 4

Tabela 1. Médias ($\pm$ EPM) dos valores de luminosidade (L^*), intensidade de vermelho (a^*), intensidade de amarelo (b^*) e índice de

saturação chroma (C*) na superfície dorsal do músculo <i>longissimus lumborum</i> de coelhos Botucatu em função da fase do <i>rigor mortis</i> e do tempo de congelamento das carcaças.....	135
Tabela 2. Médias ($\pm$ EPM) dos valores de luminosidade (L*), intensidade de vermelho (a*), intensidade de amarelo (b*) e índice de saturação chroma (C*) na superfície ventral do músculo <i>longissimus lumborum</i> de coelhos Botucatu em função da fase do <i>rigor mortis</i> e do tempo de congelamento das carcaças.....	136
Tabela 3. Desdobramento ($\pm$ EPM) da interação entre a fase do <i>rigor mortis</i> e o tempo de congelamento das carcaças para a luminosidade (L*) das superfícies dorsal e ventral do músculo <i>longissimus lumborum</i> em coelhos Botucatu.....	136
Tabela 4. Médias ($\pm$ EPM) dos valores de pH, perda de peso por cocção (PPC) e capacidade de retenção de água (CRA) do músculo <i>longissimus lumborum</i> de coelhos Botucatu em função da fase do <i>rigor mortis</i> e do tempo de congelamento das carcaças.....	137
Tabela 5. Desdobramento ($\pm$ EPM) da interação entre a fase do <i>rigor mortis</i> e o tempo de congelamento das carcaças para pH do músculo <i>longissimus lumborum</i> em coelhos Botucatu.....	138
Tabela 6. Médias ($\pm$ EPM) dos valores de força de cisalhamento (FC), comprimento de sarcômero (CS), índice de fragmentação miofibrilar (IFM) e oxidação lipídica (TBARS) no músculo <i>longissimus lumborum</i> de coelhos Botucatu em função da fase do <i>rigor mortis</i> e do tempo de congelamento das carcaças.....	138
Tabela 7. Desdobramento ($\pm$ EPM) da interação entre a fase do <i>rigor mortis</i> e o tempo de congelamento das carcaças para força de cisalhamento do músculo <i>longissimus lumborum</i> em coelhos	

Botucatu.....	139
Tabela 8. Composição química média ($\pm$ EPM) do <i>músculo longissimus lumbarum</i> de coelhos Botucatu em função da fase do <i>rigor mortis</i> e do tempo de congelamento das carcaças.....	140
Tabela 9. Desdobramento ($\pm$ EPM) da interação entre a fase do <i>rigor mortis</i> e o tempo de congelamento das carcaças para o teor de umidade do <i>músculo longissimus lumbarum</i> em coelhos Botucatu.....	141
Tabela 10. Médias ($\pm$ EPM) dos valores de energia bruta, colesterol e proteína solúvel do <i>músculo longissimus lumbarum</i> de coelhos Botucatu em função da fase do <i>rigor mortis</i> e do tempo de congelamento das carcaças.....	141

LISTA DE FIGURAS

	Página
Capítulo 1	
Figura 1. Produção Mundial da carne de coelho distribuída por continentes, ano base 2020.....	6
Figura 2. Ranking de produção da carne cunícula nas Américas, ano base de 2020.....	7
Figura 3. Evolução do rebanho cunícula brasileiro durante o período de 2010 a 2020.....	8
Figura 4. Desenvolvimento hipotético da tensão isométrica durante o desenvolvimento do <i>rigor mortis</i>	25
Capítulo 2	
Figura 1. Evolução do pH do <i>biceps femoris</i> (BF) e <i>longissimus lumborum</i> (LL) em coelhos Botucatu abatidos aos 3 meses de idade durante as primeiras 24h <i>post-mortem</i>	64
Figura 2. Evolução do pH do <i>biceps femoris</i> (BF) e <i>longissimus lumborum</i> (LL) em coelhos Botucatu abatidos aos 12 meses de idade durante as primeiras 24h <i>post-mortem</i>	64
Figura 3. Evolução do pH do <i>longissimus lumborum</i> em coelhos fêmeas e machos Botucatu abatidos aos 3 meses de idade durante as primeiras 24h <i>post-mortem</i>	66
Figura 4. Evolução do pH do <i>longissimus lumborum</i> (LL) em coelhos fêmeas e machos Botucatu abatidos aos 12 meses de idade durante as primeiras 24h <i>post-mortem</i>	67
Figura 5. Evolução do pH do <i>biceps femoris</i> (BF) em coelhos fêmeas e machos Botucatu abatidos aos 3 meses de idade durante as primeiras 24h <i>post-mortem</i>	68
Figura 6. Evolução do pH do <i>biceps femoris</i> (BF) em coelhos fêmeas e machos Botucatu abatidos aos 12 meses de idade durante as	

primeiras 24h <i>post-mortem</i>	69
Figura 7. Evolução do pH do <i>longissimus lumborum</i> (LL) em coelhas Botucatu abatidas aos 3 e 12 meses de idade durante as primeiras 24h <i>post-mortem</i>	70
Figura 8. Evolução do pH do <i>biceps femoris</i> (BF) em coelhas Botucatu abatidas aos 3 e 12 meses de idade durante as primeiras 24h <i>post-mortem</i>	70
Figura 9. Evolução do pH do <i>longissimus lumborum</i> (LL) em coelhos machos Botucatu abatidos aos 3 e 12 meses de idade durante as primeiras 24h <i>post-mortem</i>	71
Figura 10. Evolução do pH do <i>biceps femoris</i> (BF) em coelhos machos Botucatu abatidos aos 3 e 12 meses de idade durante as primeiras 24h <i>post-mortem</i>	72
Capítulo 3	
Figura 1. Evolução da temperatura (T°C) e da UR (%) da câmara fria durante as primeiras 24h <i>post-mortem</i>	91
Figura 2. Evolução da temperatura dos músculos <i>longissimus thoracis et lumborum</i> (LTL) e <i>biceps femoris</i> (BF), durante as primeiras 24h <i>post-mortem</i> , em carcaças de coelhos Botucatu resfriadas a 4°C.....	92
Figura 3. Rendimento de carcaça fria (RCF) (%) e perda de peso por resfriamento (PPR) (%) em função do tempo de resfriamento das carcaças de coelhos Botucatu.....	95
Figura 4. Volume de exsudato pós-descongelamento (VEPD) (mL) e perda de peso por resfriamento (PPR) (%) em função do tempo de resfriamento das carcaças de coelhos Botucatu.....	96

Figura 5. Volume de exsudato pós-descongelamento (VEPD) (mL) e perda de peso por descongelamento (PPD) (%) em função do tempo de resfriamento das carcaças de coelhos Botucatu.....	97
Figura 6. Força de cisalhamento (FC) (Kgf) e índice de fragmentação miofibrilar (IFM) do músculo <i>longissimus thoracis et lumborum</i> em função do tempo de resfriamento das carcaças de coelhos Botucatu.....	106
Figura 7. Comprimento de sarcômero (CS) (μm) e índice de fragmentação miofibrilar (IFM) do músculo <i>longissimus thoracis et lumborum</i> em função do tempo de resfriamento das carcaças de coelhos Botucatu.....	107
Figura 8. Força de cisalhamento (FC) (Kgf) e índice de fragmentação miofibrilar (IFM) do músculo <i>biceps femoris</i> em função do tempo de resfriamento das carcaças de coelhos Botucatu.....	114
Figura 9. Força de cisalhamento (FC) (Kgf) e comprimento de sarcômero (μm) para machos e fêmeas (CS) no músculo <i>biceps femoris</i> em função do tempo de resfriamento das carcaças de coelhos Botucatu.....	116

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

Revisão de literatura: Indústria cunícula no Brasil - Situação atual, desenvolvimento e compreensão dos processos da cadeia do frio sobre a qualidade da carne¹

Sumário: A busca crescente por carnes brancas, magras e nutritivas tem suscitado transformações relevantes nos padrões de consumo alimentar da população em geral, criando novas oportunidades para as carnes não convencionais em todo o mundo. Para atender a essa nova demanda de mercado, o investimento na produção de carne de coelho aumentou significativamente. A carne de coelho é altamente digestível, rica em minerais e proteínas de alto valor biológico, com baixos níveis de colesterol e sódio e teor relativo de ácidos graxos poli-insaturados. Com ótimo desempenho zootécnico, características de carcaça e viabilidade econômica, os coelhos são abatidos aos 75-90 dias de idade e comercializados congelados em carcaças inteiras ou em cortes. No entanto, para produzir carne com alta qualidade e eficiência, a indústria da carne de coelho no Brasil tem buscado contínua melhoria de seus processos. Dessa forma, esta revisão tem como objetivo descrever a situação atual do Brasil no mercado global da carne de coelho, os benefícios de seu consumo e os desafios enfrentados pela indústria nos primeiros estágios *post-mortem*, elencando os pontos críticos na cadeia do frio que podem comprometer a qualidade final da carne cunícula, além de estimular novos estudos sobre o tema apresentado.

Resumo: A produção da carne de coelho está tradicionalmente relacionada aos países asiáticos e europeus. No entanto, é de extrema importância que se conheça o papel crescente dos demais atores no cenário mundial da cunicultura de corte, bem como a logística de seus processos produtivos, seus índices de produção e os principais entraves enfrentados pelo setor, de forma a transpor as barreiras

¹ Este capítulo corresponde ao artigo científico submetido à revista *Animals* e encontra-se em avaliação para publicação.

internacionais e a ampliar as fronteiras do conhecimento. Nesse contexto, o Brasil se destaca como o quarto maior produtor de carne de coelho das Américas, produzindo aproximadamente 1.200 toneladas de carne por ano, com estoque de 177.000 cabeças de coelho. A cadeia do frio cunícula compreende duas operações básicas de refrigeração destinadas a reduzir a temperatura da carcaça: resfriamento e congelamento. Visando a redução dos custos nas primeiras 24h *post-mortem*, grande parte dos frigoríficos brasileiros tem optado somente pelo processo de congelamento, o que pode acarretar em impactos negativos sobre a qualidade da carne devido ao encolhimento do sarcômero causado pelo encurtamento pelo frio e/ou pelo rigor de descongelamento. Daí a necessidade de novos estudos que busquem avaliar as alterações na qualidade físico-química da carne de coelho resfriada e congelada, tendo em vista os efeitos deletérios observados na maciez, cor e rancidez do produto final, principalmente em função do grande número de carcaças congeladas em estágio pré-rigor comercializadas pela indústria.

Palavras-chave: ciência da carne; cunicultura; parâmetros tecnológicos; pH; produção de coelhos; produtos de origem animal; refrigeração; *rigor mortis*; sarcômero

Introdução

O principal foco da cunicultura mundial nos últimos anos tem sido a criação de coelhos de médio e grande porte voltados à produção de carne (Túmová et al., 2014; Daszkiewicz et al., 2020). Dentre a grande variedade de raças de coelhos existentes, os cunicultores de corte têm optado pela utilização de raças de médio porte para melhorar geneticamente os planteis, devido à sua alta prolificidade e precocidade, e pelas raças de grande porte voltadas à manutenção das características desejáveis de carcaça. Essa estratégia tem facilitado o manejo das matrizes e reduzido o custo de manutenção, permitindo a produção de coelhos de engorda com alta taxa de crescimento (Blasco et al., 2018).

Com rendimento de carcaça em torno de 52,7% a 60%, os coelhos de corte são geralmente abatidos aos 70 - 90 dias de idade, quando chegam a atingir 2,0 a

3,0 kg de peso vivo (Negretti et al., 2007; Romero et al., 2010; Machado & Ferreira, 2014). Além disso, os coelhos necessitam de pouca mão-de-obra e possuem características interessantes do ponto de vista zootécnico, como maturidade sexual precoce para ambos os sexos (Khadr et al., 2015; Martínez-Paredes et al., 2022), período gestacional de aproximadamente 30 dias (Wilson & Dudley, 1952), alta prolificidade (Casares-Crespo et al., 2018; Cifre et al., 1998), reduzido intervalo entre partos (Ghoneim et al., 2022; Partridge et al., 1984), desmame precoce (Pascual, 2001), rápido desenvolvimento e ganho de peso (Ebeid et al., 2022; Kvartnikova & Shastina, 2022) e excelente conversão alimentar (Knudsen et al., 2014), fazendo com que o avanço da cunicultura de corte seja bastante promissor em nações em pleno desenvolvimento, como o Brasil, que figura entre os maiores produtores da carne de coelho no continente americano (FAOSTAT, 2020).

No entanto, para que a carne de coelho possa competir com culturas tradicionalmente estabelecidas no mercado de carnes, é necessária atenção a todos os elos de sua cadeia produtiva, sobretudo àqueles relacionados às etapas de refrigeração da carne nas primeiras 24 horas *post-mortem*. A cadeia do frio deve propiciar um ambiente seguro em todos os processos de produção envolvidos, como resfriamento, processamento, congelamento, embalagem e transporte dos produtos cárneos, com temperatura e umidade controladas, de forma a inibir o crescimento de microorganismos patogênicos, atividades enzimáticas, deterioração dos alimentos e, conseqüentemente, a incidência de Doenças Transmitidas por Alimentos (DTA's) (Ren et al., 2022). Os fenômenos bioquímicos e estruturais que ocorrem durante este período são responsáveis pelo processo de conversão do músculo em carne e também impactam diversos parâmetros tecnológicos da carne, com conseqüências diretas sobre sua qualidade (Hulot & Ouhayoun, 1999; Yan et al., 2022); especialmente nos frigoríficos cunículas brasileiros que se encontram em recente adaptação de seus processos.

Sendo assim, esta revisão tem como objetivo descrever o perfil de produção e consumo da carne de coelho no Brasil em relação ao mercado cunícula internacional, além de apresentar os principais benefícios de seu consumo e atuais desafios enfrentados durante o processo de refrigeração das carcaças nos primeiros estágios *post-mortem* com foco na qualidade da carne.

Panorama da cunicultura de corte no Brasil

Os gargalos da indústria cunícula brasileira são praticamente os mesmos enfrentados por outros países em desenvolvimento, como sazonalidade da produção, falta de suporte técnico, infraestrutura precária, má operação da cadeia do frio, ciclos de abate descontínuos, lento melhoramento genético e animais pouco adaptados às condições climáticas locais (Dihigo & Ponce de León, 2006; Salas, 2006; Moura, 2010; Andrea, 2014).

No Brasil, a maioria das raças de corte utilizadas ainda são aquelas tradicionalmente criadas mundialmente, como Nova Zelândia Branca, Gigante de Bouscat, Californiana, Prateado de Champagne, Chinchilla, Gigante de Flanders e Rex, formando planteis puros ou na maioria das vezes mestiços (Heker, 2015; Ferreira et al., 2021; Silva et al., 2021), sem grandes avanços no banco genético nacional. Contudo, em 1989, um grupo fundador composto por aproximadamente 45 coelhos Nova Zelândia Branco, 30 matrizes e 15 reprodutores, foi importado da Oregon State University, USA, para a Universidade Estadual de Maringá, no Paraná (Zeferino et al., 2011), incentivando o desenvolvimento de pesquisas científicas na área e a produção de coelhos com aptidão corte em algumas regiões do país. Quase dez anos depois, uma linhagem genética de porte médio e com dupla aptidão foi desenvolvida por um time de pesquisadores da Universidade Estadual Paulista, recebendo o nome de Botucatu, em alusão à cidade onde foi criada. Originário de coelhos híbridos Norfolk 2000 (Nova Zelândia Branco vs Californiano vs Gigante de Bouscat) e selecionados para tamanho de ninhada e características de crescimento (Moura et al., 2000; Moura & Costa, 2001), este grupo genético tem sido recentemente introduzido nas granjas cunículas brasileiras, apresentando resultados bastante promissores em termos de eficiência alimentar, características de carcaça e qualidade da carne (Bianospino et al., 2006).

É certo dizer que, independentemente da raça selecionada para criação, todas as granjas cunículas brasileiras possuem ciclo completo de produção, da reprodução à engorda (Silva et al., 2021), com láparos desmamados aos 35 dias de idade (Ferreira et al., 2012), semelhantemente às outras cuniculturas latino-americanas (Becerril-Pérez, 2006; Cortazar & Martinez, 2006). A adoção de curtos

intervalos entre partos (44,5 dias em média) parece, ainda, ser um padrão da cunicultura brasileira, caracterizando um sistema de produção semi-intensivo (Ferreira et al., 2012; Silva et al., 2021), em que se obtém 6 a 8 partos/matriz/ano (Ferreira et al., 2010; Silva et al., 2021) tal qual empregado em outros países latinos (Cortazar & Martinez, 2006; Osechas & Sánchez, 2006).

Contudo, é difícil obter dados de reprodução fidedignos, uma vez que diversas granjas cunícolas no Brasil ainda adotam sistema de produção artesanal, onde a maioria das construções possuem apenas um galpão principal, com média de 1,5 galpão/granja, composto em sua maioria por 21 a 60 matrizes (58,3%) (Silva et al., 2021). Esta tendência tem sido registrada por outros pesquisadores, como Ferreira et al. (2010) e Colin & Lebas (1996), que verificaram que planteis pequenos e de porte médio na América do Sul possuem menos de 100 matrizes. Além disso, Silva et al. (2021) ainda observaram que os sistemas de gaiolas tradicionais *flat-deck* têm sido o mais prevalente dentre os modelos de criação brasileiros, com gaiolas de arame galvanizado suspensas e dispostas em linha, com área interna de 0,44 m², dimensões de 80 cm x 60 cm x 40 cm (comprimento x largura x altura) e densidade média de 3,4 animais/m² para coelhos em crescimento, sendo equipadas com bebedouros automáticos do tipo *nipple* e comedouros internos de metal ou cerâmica.

Frente a esse cenário, observa-se que a cunicultura de corte tem avançado de forma gradativa no Brasil, sobretudo quando comparada aos elevados graus de desenvolvimento e tecnificação observados em toda a cadeia produtiva da carne de coelho em países europeus e asiáticos (Cullere & Dalle Zotte, 2018; Li et al., 2018; Wu, 2022).

Mercado nacional e mundial da carne de coelho

Com o mercado de carnes asiático aquecido em decorrência da recente crise sanitária que assolou a China, maior consumidor e produtor mundial da carne suína (USDA, 2022), promovida pelo surto da Peste Suína Africana (PSA) que já dizimou mais de 60% do rebanho suíno chinês desde 2018 (Xia et al., 2021), e pelo consequente desequilíbrio desencadeado a nível internacional no mercado global de carnes, novas fontes de proteína animal se fizeram necessárias para atender a

demanda daquele país e, também, de demais países asiáticos, europeus e africanos que, assim como a China, tiveram seus rebanhos infectados com novas cepas da PSA (Ito et al., 2022).

Esse novo padrão no consumo de produtos cárneos fez com que a China Continental transicionasse de maior exportador e se estabelecesse definitivamente como o maior produtor de carne de coelho do mundo em 2020, com um total de 456.552 ton produzidas, seguido pela Coreia do Norte e Egito que produziram 142.769 e 71.178 ton, respectivamente, de acordo com os dados mais recentes divulgados pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura - FAO (FAOSTAT, 2020).

No mesmo ano, a produção mundial da carne de coelho alcançou 893.631 ton, com destaque para a Ásia que produziu 603.119 ton (67,5%), Europa 175.422 ton (19,6%) e África 99.933 ton (11,2%), enquanto as Américas (Central, do Norte e do Sul) detiveram somente 1,7% do total da carne de coelho produzida em todo o mundo, o equivalente a 15.157 ton (FAOSTAT, 2020), conforme mostra a Figura 1.

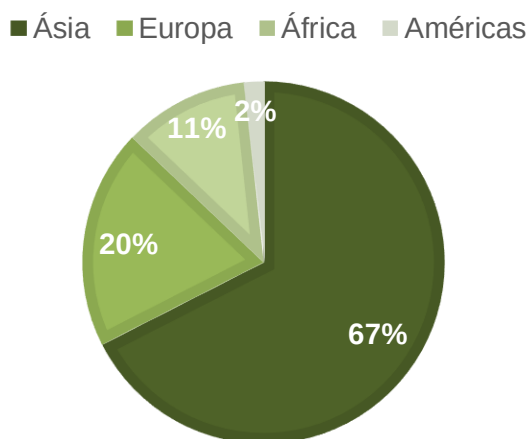


Figura 1. Produção Mundial da carne de coelho distribuída por continentes, ano base 2020*.

*Fonte: Adaptado pelo autor com permissão da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura - FAO (FAOSTAT, 2022).

Ainda assim, dados recentemente divulgados pela FAO apontam que a produção da carne de coelho no Brasil atingiu 1.159 toneladas em 2020, sendo considerado o quarto maior produtor da carne de coelho das Américas, contando com um efetivo de 177 mil cabeças de coelhos de corte nesse mesmo ano

(FAOSTAT, 2020), ficando abaixo somente do México, maior produtor e exportador do continente americano, com 4.474 ton de carne produzida, Peru (3.377 ton) e Colômbia (3.211 ton), respectivamente (Figura 2).

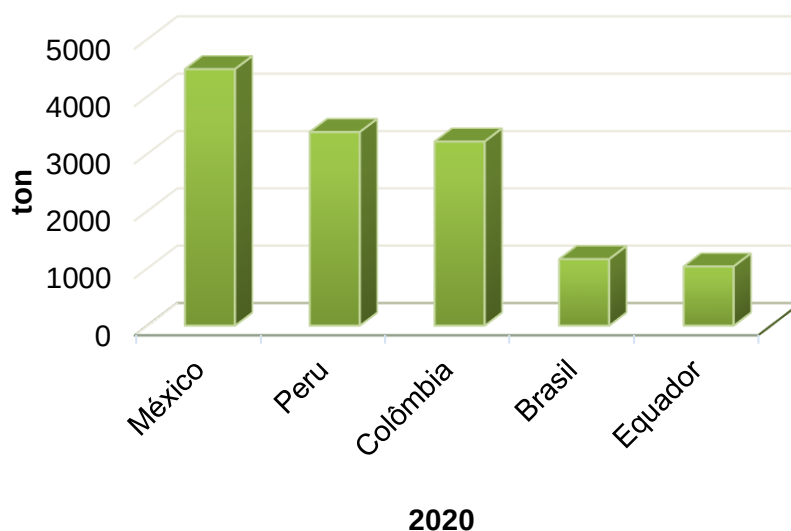


Figura 2. Ranking de produção da carne cunícula nas Américas, ano base de 2020*.

*Fonte: Adaptado pelo autor com permissão da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura - FAO (FAOSTAT, 2022).

Quando comparados os índices produtivos da cunicultura brasileira com aqueles de espécies domésticas tradicionalmente comercializadas, percebe-se que a criação de coelhos de corte tem muito que avançar para se tornar competitiva junto ao cenário agropecuário nacional, conforme pode ser verificado na Tabela 1.

Tabela 1: Comparativo dos índices mais recentes de produção registrados para coelhos (2020) e para diferentes espécies monogástricas criadas e comercializadas no Brasil (2021).

Índice	Espécie			
	Frango (matriz de corte)*	Suíno (matriz)*	Peru*	Coelho**
Alojamento (cabeças)	55 milhões	2 milhões	-	177 mil
Produção de carne (ton)	14 milhões	4,7 milhões	157 mil	1.159
Consumo (kg/hab./ano)	45,600	16,700	0,500	0,120

Fonte: *ABPA (2022) / **FAOSTAT (2020). Adaptado pelo autor.

Embora o quantitativo de coelhos de corte alojados no Brasil não seja verdadeiramente contabilizado desde 2017, quando o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) suspendeu a divulgação desses dados, estimativas anuais da FAO revelaram um declínio de 21,7% do rebanho cunícula brasileiro nos últimos 10 anos em que se tem registro (2010 a 2020) (FAOSTAT, 2020), como pode ser observado na Figura 3. Consequentemente, os índices de produção foram afetados, com redução de 36% do total da carne de coelho produzida em território nacional no mesmo período.

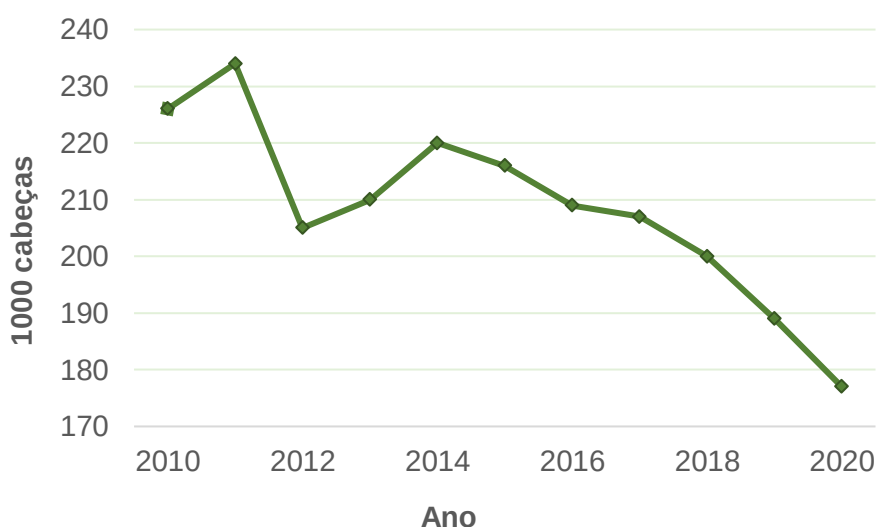


Figura 3. Evolução do rebanho cunícula brasileiro durante o período de 2010 a 2020.

*Fonte: Adaptado pelo autor com permissão da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura - FAO (FAOSTAT, 2022).

Mas há de se enfatizar que grande parte do abate dos coelhos ainda tem sido realizada de forma clandestina, sem fiscalização sanitária, e que a comercialização dessa carne persiste de forma informal, em feiras livres, restaurantes e mercados locais, o que sugere que esses dados possam estar subestimados, conforme já inferido por Machado (2012).

O último censo agropecuário realizado pelo IBGE (2017) indicou que a produção de coelhos de corte ocorre de maneira bastante heterogênea nas diversas regiões do Brasil. Dentre os 16.095 estabelecimentos cunículas distribuídos pelos 27 estados brasileiros, merece destaque a região Sul, com um total de 119.447 animais

alojados naquele ano base, tendo o Rio Grande do Sul como o maior produtor nacional de coelhos com 58.344 cabeças produzidas, em segundo lugar Santa Catarina com 37.478 e em terceiro lugar Paraná com 23.625. Ao passo que Acre, Piauí e Tocantins, apresentaram o menor efetivo cunícula do país, com 85, 203 e 416 cabeças, respectivamente.

Não há até o presente momento, um levantamento oficial realizado por órgãos governamentais, quer seja na esfera federal, estadual ou municipal, que tenham descrito com exatidão o consumo *per capita* da carne de coelho no país. No entanto, pesquisas científicas nacionais recentes demonstraram que aproximadamente 60 a 66% dos brasileiros nunca consumiram este tipo de carne (Machado, 2015; Magalhães et al. 2022), consequência de inúmeros fatores, entre eles, o desconhecimento por grande parte da população sobre os benefícios de sua inclusão na dieta e de sua qualidade nutricional, associado, principalmente, à ideia de que o coelho é um animal destinado exclusivamente ao mercado pet, com forte apelo emocional envolvido (Blecha & Davis, 2014; Leroy & Praet, 2017; Leroy & Petracci, 2021; Silva et al., 2020). Diferentemente de países como Espanha, onde 66% dos cidadãos se alimentam dessa carne e 20% a consomem ao menos uma vez por semana (Escriba-Perez et al., 2017).

Dados defasados compartilhados pela Associação Paulista de Criadores de Coelho, em 2014, apontam um consumo de aproximadamente 0,120 kg/hab./ano, o que, muito provavelmente, não reflete a realidade atual (Machado, 2012); valor este inferior àqueles registrados para a China e União Europeia, que apresentam consumo médio na base de 0,610 kg/hab./ano (Li et al., 2018) e 0,500 kg/hab./ano (European Commission, 2017), respectivamente.

Segundo os relatórios mais recentes emitidos pela European Commission (2017) e pela agência IndexBox (2020), os maiores consumidores da carne cunícula nos Estados Membros da União Europeia são Malta e República Tcheca (> 3,000 kg/hab./ano), seguidos por Espanha e Portugal (1,000 a 1,500 kg/hab./ano), França, Itália e Eslováquia (0,500 a 1,000 kg/hab./ano), Bélgica e Alemanha (0,100 a 0,500 kg/hab./ano), e demais nações europeias (< 0,100 kg/hab./ano); enquanto essas mesmas agências estimaram o consumo mundial desse produto em 0,460 kg/hab./ano.

Contudo, alguns estudos atuais verificaram que essa heterogeneidade encontrada para os parâmetros produtivos nacionais reflete o comportamento alimentar do consumidor brasileiro da carne cunícula (Bonamigo et al., 2017; Silva et al., 2020; Magalhães et al., 2022).

Magalhães et al. (2022), por exemplo, observaram que o consumo da carne de coelho é mais expressivo na região Sul do país, principalmente pela influência da cultura local, que tem em suas tradições forte herança colonial europeia, um dos maiores continentes produtores e consumidores da carne cunícula (FAOSTAT, 2020). Os autores também constataram que os estados da região Norte e Nordeste, apesar de apresentarem os menores índices de consumo do país, são aqueles com maior receptividade à ideia de incluírem a carne de coelho em suas dietas, indicando grande potencial de mercado; enquanto que as regiões mais centrais do país (Sudeste e Centro-oeste) são aquelas que mais percebem o coelho doméstico como pet.

Dados esses que demonstraram a real necessidade por ações de marketing e políticas públicas específicas voltadas à divulgação dos benefícios da carne de coelho na alimentação humana, prioritariamente enquanto alimento funcional (Dalle Zotte & Szendrő, 2011; Petrescu & Petrescu-Mag, 2018), a fim de desmistificar o conceito de que a espécie deva ser direcionada somente à criação de animais de estimação ou de biotérios.

Em termos industriais, o baixo consumo da carne de coelho no Brasil poderia estar, também, atrelado à falta de padronização e controle das práticas de produção adotadas na indústria cunícula, o que por muitas vezes impede a comercialização de um produto com excelência em qualidade, afastando-o do consumidor final. Tais condições são ainda mais agravadas com a escassez, e até mesmo ausência, de estudos científicos com foco na avaliação dos procedimentos operacionais básicos relacionados ao período pós-abate, como período e temperatura de resfriamento das carcaças, tecnologia e processamento dos cortes, condições da embalagem e do armazenamento a curto e longo prazo sobre a qualidade do produto final (Petracci et al., 2018; Magalhães et al., 2022).

Benefícios da carne de coelho e suas propriedades funcionais

A crescente demanda por alimentos saudáveis tem suscitado uma série de transformações na indústria da carne, não somente no Brasil, mas a nível mundial, impulsionando a produção e elaboração de novos produtos que atendam às exigências do consumidor moderno, os quais estão cada vez mais conscientes dos benefícios, em relação à promoção da saúde e bem-estar (Escriba-Perez et al., 2017), proporcionados por uma dieta balanceada, nutritiva, palatável, com baixos teores de gordura e rica em proteína de alta qualidade incorporada em sua rotina alimentar.

Diante desta tendência de mercado, uma grande oportunidade se abre à exploração comercial de espécies domésticas não convencionais, com foco na produção de carne e no consumo de novas fontes de proteína animal. Com destaque à cunicultura de corte, que há anos busca se consolidar no cenário agropecuário nacional e internacional, com elevadas expectativas de expansão e inserção dos seus produtos e subprodutos em múltiplos canais de vendas, uma vez que representa uma das culturas em desenvolvimento com maior potencial para a produção de carne em larga escala no país.

Por se tratar de uma carne branca, com baixos percentuais de gordura e colesterol, pouco calórica, com reduzido teor de sódio, alta digestibilidade, constituída por proteínas de alto valor biológico e consideráveis teores de vitaminas e ácidos graxos insaturados, como ômega-3 [ácido gama-linolênico (GLA)] e ômega-6 [ácido linoleico conjugado (CLA)] (Cullere & Dalle Zotte, 2018; Dalle Zotte et al., 2014; Gál et al., 2022), o consumo regular da carne de coelho poderia conferir inúmeros benefícios à saúde humana, sobretudo àqueles indivíduos com requerimentos específicos em sua dieta, como obesos (Becerra-Tomás et al., 2016), hipertensos (Hermida et al., 2006), idosos (Lombardi-Boccia et al., 2005; Pfisterer et al., 2016; Wong, 2015), mulheres em idade reprodutiva e crianças em fase inicial de desenvolvimento (Adeolu et al., 2020; Escriba-Pérez et al., 2019). O que tem sido cada vez mais endossado por estudos que apontam o consumo da carne vermelha como fator de risco ao surgimento de doenças crônicas, com comprometimento cardiovascular e até mesmo com o desenvolvimento de diferentes tipos de câncer

(Corpet, 2011; Etemadi et al., 2017; Huang et al., 2021; McAfee et al., 2010; Lippi et al., 2016; Yang et al., 2016).

A própria Organização Mundial da Saúde (OMS), juntamente com a FAO, tem estimulado o consumo da carne de coelho ao redor do mundo por meio de Diretrizes Alimentares específicas ("Food-Based Dietary Guidelines"), ao recomendar a ingestão semanal de duas a quatro porções (100 – 125g / cada) de carne cunícula por pessoa, com o propósito de reduzir os riscos de acidentes vasculares cerebrais (AVC), diabetes, câncer colorretal e câncer de pulmão (AESAN, 2020). Assim como o Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF, 2020) já tem recomendado o seu consumo para crianças.

É bem verdade que a composição química da carne de coelho pode variar em função de diversos fatores intrínsecos ao próprio animal, entre eles, idade de desmama, raça/genética, classe sexual, músculo, idade e peso vivo ao abate (Gondret et al., 1998; Gasperlin et al., 2006; Bivolarski et al., 2011; Daszkiewicz & Gugolek, 2020), e de fatores extrínsecos a ele, como, por exemplo, alimentação, temperatura ambiental, densidade de gaiola e sistema de criação (Deltoro et al., 1988; Birolo et al., 2021; Cardinali et al., 2015; Dal Bosco et al., 2015; El-Tarabany et al., 2021; Thiam et al., 2021). Mas, de maneira geral, os valores individuais registrados para seus componentes na literatura científica parecem seguir uma mesma tendência, demonstrando excelentes propriedades funcionais, nutritivas e dietéticas (Dalle Zotte & Szendrő, 2011; Hernández & Dalle Zotte, 2020).

A partir das revisões elaboradas por Cullere & Dalle Zotte (2018) e Dalle Zotte & Szendrő (2011), observa-se que a carne de coelho possui altos teores de aminoácidos essenciais e vitaminas do complexo B. Com destaque para a vitamina B₁₂, que em 100 g de carne contribui com até cinco vezes (8,7 a 11,9 µg) o valor da Ingestão Diária Recomendada (IDR) para indivíduos com idade igual ou superior aos 19 anos (a saber, 2,4 µg Vit.B₁₂/dia) (IOM/FNB, 1998). Essa mesma quantidade de carne fornece, ainda, cerca de 8% da exigência diária de vitamina B₂, 12% da vitamina B₅, 21% da vitamina B₆ e 77% da vitamina B₃ (Hernández & Dalle Zotte, 2020).

Com o valor médio de cinzas em torno de 1,21%, é uma carne rica em minerais de alta biodisponibilidade, como potássio (388 – 430 mg/100 g), fósforo

(228 – 237 mg/100 g) e magnésio (27 mg/100 g) (Hermida et al., 2006; Adeolu et al., 2020), e pobre em ferro (0,38 – 5,56 mg/100 g), zinco (0,55 – 10,9 mg/100 g), cobre (0,03 – 0,78 mg/100 g) e sódio (42,0 – 60,0 mg/100g) (Hermida et al., 2006; Lombardi-Boccia et al., 2005), minerais esses que são encontrados em maiores concentrações na carne de outras espécies, sobretudo aquelas com carne vermelha, os quais podem acarretar diversos agravos à saúde do consumidor quando consumidos em excesso (De Oliveira Otto et al., 2012; Yang et al., 2016; Etemadi et al., 2017; Hunter et al., 2022; Kunutsor et al., 2022).

Ao comparar a carne de coelho às carnes convencionais (bovina, suína e frango), Nistor et al. (2013) verificaram que a carne de coelho é mais rica em cálcio (21,4 mg/100 g) e fósforo (347 mg/100 g), com menores teores de gordura (9,2 g/100 g) e colesterol (56,4 mg/100 g) do que as demais carnes avaliadas. Do mesmo modo, seu conteúdo lipídico apresenta maior porcentagem de ácidos graxos poli-insaturados (PUFA) (32,5%) em relação à carne bovina (8,79%) suína (13,8%) e de frango (27,4%) (Dalle Zotte & Szendrő, 2011). Petracci & Cavani (2013) ainda encontraram diferenças nos valores de PUFA para o lombo em relação à carcaça inteira, com 36,0% e 33,4%, respectivamente, o que tem despertado o interesse sobre a espécie, a fim de que esses números sejam incrementados por meio de estratégias nutricionais aplicadas à dieta dos animais (Papadomichelakis et al, 2017; Mattioli et al., 2020; Adeyemi et al., 2022; Selim et al., 2022), uma vez que os benefícios desses compostos sobre a saúde humana têm se confirmado nas últimas décadas (Belury et al., 2022; Kosmalski et al., 2022).

Os achados científicos compilados por Hernández & Dalle Zotte (2020) também demonstraram haver uma diferenciação quanto à composição química dos diferentes cortes da carcaça dos coelhos; sendo o lombo o corte mais magro, com teor de lipídios igual a 1,8 g/100 g de carne, seguido pela coxa/sobrecoxa com 3,4 g/100 g, e, por fim, pela perna dianteira, considerada o corte mais gordo, com 8,8 g/100 g. Os autores observaram o mesmo padrão para o valor energético dos cortes, a seguir, 144 Kcal/100 g para o lombo, 157 Kcal/100 g para coxa/sobrecoxa e 215 Kcal/100 g para o dianteiro. Mediante essas singularidades, a coxa/sobrecoxa e o lombo são considerados cortes nobres para a cunicultura de corte, ambos apresentando em média 22% de proteína em sua composição, enquanto que para o

corte dianteiro esse valor é ligeiramente inferior, 18,6%.

A proteína da carne de coelho é considerada de excelente qualidade e é composta por altos níveis de aminoácidos essenciais, a seguir, lisina (2,12 g/100 g), treonina (2,01 g/100 g), valina (1,19 g/100 g), isoleucina (1,15 g/100 g), leucina (1,73 g/100 g), fenilalanina (1,04 g/100 g) e demais aminoácidos sulfurados (1,10 g/100 g). Esse perfil de aminoácidos possui alta digestibilidade e confere elevado valor biológico à proteína. Já as proteínas do tecido conectivo são caracterizadas por apresentarem menor valor biológico e nutricional, mas, ainda assim, apresentam alta digestibilidade (Cullere & Dalle Zotte, 2018; Hernández & Dalle Zotte, 2020).

Dado sua importância enquanto alimento funcional (Dalle Zotte & Szendrő, 2011; Olmedilla-Alonso et al., 2013; Petrescu & Petrescu-Mag, 2018), a carne de coelho pode também ser direcionada a programas sociais no combate à fome, à erradicação da pobreza e à desnutrição infantil (Adeolu et al., 2020; Quagliariello & Lafalla Manzano, 2021; Wu, 2022), inclusive fomentando iniciativas de apoio à agricultura familiar, à inserção da mulher do campo no mercado de trabalho e ao desenvolvimento rural, por meio do estímulo à criação de coelhos com aptidão cárnea, tal qual exitosamente experimentado por alguns países em desenvolvimento da América Latina e da África (Lukefahr & Cheeke, 1990, 1991; Oseni & Lukefahr, 2014; Quagliariello & Lafalla Manzano, 2021).

Qualidade da carne de coelho

Além do perfil nutricional, outros parâmetros são igualmente importantes na determinação da qualidade da carne de coelho, qualidade essa que pode ser definida como a descrição abrangente das características objetivas ou dos fatores pelos quais a carne é composta, distribuídos em parâmetros nutricionais, sensoriais, higiênicos e tecnológicos (Honikel, 1991).

É bem verdade que a avaliação dos parâmetros tecnológicos da carne de coelho tem ganhado cada vez mais notoriedade em nível científico e industrial, por meio da padronização de seus processos de produção e da caracterização físico-química de seus produtos. Isso porque a combinação dos diferentes métodos de processamento da carcaça pode exercer maior influência sobre a qualidade da carne

do que os próprios fatores de produção pré-abate *per se* (Dalle Zotte, 2002); a exemplo das alterações que ocorrem na carne durante o resfriamento das carcaças e que são fortemente afetadas por múltiplos fatores, como temperatura e tempo de armazenamento, quebras na cadeia de refrigeração e processos de embalagem (Hulot & Ouhayoun, 1999).

Dentre os parâmetros tecnológicos mais estudados em relação à qualidade da carne cunícula, destacam-se o potencial hidrogeniônico (pH), cor instrumental, capacidade de retenção de água, perda de peso por cocção, força de cisalhamento, comprimento de sarcômero, índice de fragmentação miofibrilar, taxa de oxidação lipídica e as perdas de peso por resfriamento e por descongelamento (Hulot & Ouhayoun, 1999; Prates et al., 2002; Soglia et al., 2014; Tariq et al., 2016; Abdel-Naeem et al., 2021; Carrillo-Lopez, et al., 2021; Isso & Kennedy, 2021; Wang et al., 2020, 2022). Além disso, é importante ressaltar que o pH também está intimamente relacionado aos processos de transformação do músculo em carne, logo nas primeiras horas *post-mortem* e, conseqüentemente, às demais propriedades físico-químicas da mesma.

Contudo, são escassos estudos que tenham realizado as mensurações das propriedades físico-químicas da carne cunícula ao longo das primeiras 24h *post-mortem*, em situação industrial, de maneira a se obter uma avaliação consistente das alterações em qualidade decorrentes dos diferentes tempos de resfriamento das carcaças *in natura*, conforme já realizado para outras espécies comerciais como bovinos (Hwang & Thompson, 2001; Zhang et al., 2018), ovinos (Wheeler & Koohmaraie, 1994), suínos (Rees et al., 2003), perus (Yan et al., 2022) e até mesmo aquelas menos convencionais como porquinhos-da-índia, bastante consumidos em países latino americanos como Peru (Sánchez-Macías et al., 2019).

Importante salientar que, ao se padronizar um único tempo de análises para as carcaças dos coelhos, usualmente realizadas após seu resfriamento a 4°C por 24h (Ouhayoun & Dalle Zotte, 1996), sem que se tenha o exato conhecimento do tempo necessário à conversão do músculo em carne para a espécie, os possíveis prejuízos às carcaças em decorrência de sua super exposição ao frio são desconsiderados e podem vir a comprometer a qualidade física, química e tecnológica do produto final.

pH e sua relação com as demais propriedades físico-químicas da carne

O pH se destaca como uma das propriedades químicas de maior impacto na qualidade da carne. Sua velocidade de queda, logo nas primeiras horas *post-mortem*, exerce direta influência sobre as demais propriedades físico-químicas dos músculos, tais como a capacidade de retenção de água e a perda de peso por cocção (Hopkins et al., 2014; Warner et al., 2021). À medida que a acidificação muscular avança e os valores de pH se aproximam do ponto isoelétrico das proteínas miofibrilares, aproximadamente 5,0, a capacidade de retenção da água livre diminui, comprometendo a aparência da carne crua e apresentando maiores perdas de peso durante os processos de cocção, como consequência da desnaturação sarcoplasmática e da fragmentação miofibrilar (Hulot & Ouhayoun, 1999).

O pH também está intimamente relacionado à maciez da carne cozida, considerada um dos atributos mais importantes para a determinação de satisfação dos consumidores, ao estimular a liberação e a ação de proteases que decompõem a proteína da carne e acabam por amaciá-la (Koohmaraie et al., 2002). Quando os valores de pH são elevados, a carne tende a apresentar maior capacidade de retenção de água, assim como uma consistência mais firme e seca (Hulot & Ouhayoun, 1999).

É possível, ainda, correlacioná-lo à luminosidade e à coloração da carne, haja visto que menores valores de pH podem conferir maior índice de refração e dispersão da luz (Mickelson & Claus, 2020), assim como valores mais elevados podem propiciar uma carne mais escura, tendendo a uma maior intensidade de vermelho quando oxigenada (Ramos & Gomide, 2017).

Ao apresentar valores muito baixos, o pH possui função bacteriostática, enquanto valores mais altos, próximos à neutralidade, favorecem o desenvolvimento de microrganismos proteolíticos, tornando a carne inadequada para o armazenamento (Hulot & Ouhayoun, 1999; Dalle Zotte, 2002). Além disso, quando o tempo de resfriamento das carcaças é extremamente curto, não há esgotamento das reservas de energia muscular e o pH, que se encontra elevado, continua a cair mesmo após o posterior armazenamento da carne (Ouhayoun et al., 1989).

Em coelhos vivos, o pH muscular é próximo à neutralidade (Bate-Smith & Bendall, 1949), decrescendo abruptamente nos primeiros estágios *post-mortem* e de maneira menos acentuada nas horas subsequentes (Ikeuchi & Fukazawa, 1980; Hulot & Ouhayoun, 1999). Tem-se, ainda, percebido que seus diferentes músculos apresentam cinética de acidificação e valores de pH final distintos (Hulot & Ouhayoun, 1999). Tal qual observado por Blasco & Piles (1990), em que o *longissimus thoracis et lumborum* apresentou maior pH em relação ao *biceps femoris*, aos 15-20 minutos *post-mortem*, porém, com valores mais baixos ao final das 24h de resfriamento, implicando em maior queda do pH para aquele músculo.

Assim como no estudo conduzido por Ouhayoun et al. (1973, 1990), onde registrou-se queda significativa nos valores de pH, entre os 30 minutos e as 24h pós-abate (6,40 a 5,80, respectivamente) para o músculo *biceps femoris* de coelhos *crossbreed*, abatidos aos 77 dias de idade e sem diferenciação quanto ao sexo.

Entretanto, são escassos estudos que acompanharam o comportamento do pH muscular durante os primeiros estágios *post-mortem* em coelhos de corte em situação industrial. Ikeuchi & Fukazawa (1980), por exemplo, ao avaliarem a evolução do pH no *longissimus thoracis et lumborum* em carcaças submetidas a duas temperaturas de armazenamento (0 e 37°C), observaram que o pH do músculo a 0°C reduziu gradualmente durante o período de armazenamento, atingindo valores médios de 5,9 às 12h pós-morte, enquanto que o pH do músculo a 37°C diminuiu rapidamente, de 7,1 para 6,5 após duas horas de armazenamento, e, sucessivamente, para 5,6, quando se estabilizou a partir das 4h *post-mortem*. Entretanto, os autores não mencionaram peso vivo, sexo, idade e nem a raça dos coelhos utilizados no estudo.

Estudos que envolvem avaliação do pH inicial e final são imprecisos e de difícil interpretação, dado a alta taxa de acidificação muscular nas primeiras horas *post-mortem*, a qual pode se diferenciar em função da categoria animal, do peso da carcaça e das técnicas de refrigeração empregadas às carcaças. Além disso, há que se considerar a especificidade dos músculos e seu metabolismo energético, o que permite sua classificação dentro de três principais grupos, de acordo com suas fibras constituintes, a saber: oxidativos, glicolíticos e intermediários (Hulot & Ouhayoun, 1999).

Resfriamento das carcaças e parâmetros tecnológicos da carne de coelho

Por razões sanitárias bem estabelecidas (Demirok et al., 2013; Perez-Arnedo et al., 2021), recomenda-se que as carcaças sejam resfriadas imediatamente após o abate dos animais; recomendações essas que divergem das práticas rotineiramente adotadas pela indústria cunícula, sobretudo em países em desenvolvimento como o Brasil, onde as carcaças quentes são imediatamente armazenadas sob temperaturas inferiores a -18°C .

Esse congelamento precoce das carcaças, logo nas primeiras horas *post-mortem*, tem sido frequentemente justificado pelos frigoríficos em função dos elevados custos operacionais advindos do funcionamento prolongado dos sistemas de arrefecimento das câmaras frias, os quais inviabilizariam o processo de resfriamento das carcaças por 24h ininterruptas, haja visto o fluxo de produção irregular da carne de coelho e a incipiente demanda do mercado.

Além do que, o fato da indústria cunícula ser composta por frigoríficos relativamente novos, de pequeno a médio porte, faz com que poucos sejam os avanços tecnológicos implementados com sucesso no setor (Petracci & Cavani, 2013). Curioso paradoxo, uma vez que as tecnologias de processamento aplicadas às primeiras etapas *post-mortem* são as ferramentas mais eficazes para melhoria da qualidade da carcaça e da carne dos animais abatidos (Dalle Zotte, 2002).

Tem-se observado que os diferentes padrões de refrigeração da carne de coelho têm influenciado seus parâmetros tecnológicos (Dalle Zotte, 2002). Curtos períodos de resfriamento comprometem o completo esgotamento das reservas energéticas musculares e propiciam uma carne mais alcalina e exsudativa (Dalle Zotte, 2002), favorecendo o desenvolvimento de microrganismos patogênicos que comprometem a qualidade higiênico-sanitária e a vida útil do produto final (Ouhayoun et al., 1989), enquanto a exposição prolongada das carcaças a baixas temperaturas pode prejudicar a qualidade da carne, além de gerar prejuízos financeiros à indústria.

As diferentes taxas de resfriamento das carcaças influenciam diretamente a atividade glicolítica, a ação das proteases e os demais processos bioquímicos, físicos e químicos que ocorrem nos músculos, como acidificação muscular,

intensidade de contração do sarcômero, taxas de proteólise e de fragmentação miofibrilar, com efeito direto sobre a maciez da carne (Marsh et al., 1987; Koohmaraie et al., 1996; Hulot & Ouhayoun, 1999; Aberle et al., 2001).

Quanto maior a taxa de resfriamento da carcaça, menor a velocidade com que o pH final é alcançado, resultando, muitas das vezes, em maior capacidade de retenção de água e maior rendimento das carcaças (Ouhayoun et al., 1990; Hulot & Ouhayoun, 1999). No entanto, a contração muscular também é aumentada (Ouhayoun et al., 1990).

No método usual de resfriamento das carcaças bovinas e suínas, por exemplo, a temperatura da câmara fria deve oscilar entre 0 e 4°C, por 24 a 48h e de 12 a 24h, respectivamente, de forma a promover a transferência de calor apropriada aos músculos (Roça, 2000). Nessas condições, ocorre o decréscimo gradual do pH sem promover efeitos deletérios às fibras musculares pela ação do frio, mantendo a qualidade microbiológica e ainda conferindo à carne melhor maciez (Tornberg et al., 2000).

Entretanto, para que esses valores sejam reconhecidos, padronizados e adequados à realidade dos processos executados pela indústria cunícula, é necessário que se determine *a priori* o comportamento do pH das carcaças dos coelhos de corte em suas diferentes categorias nas primeiras 24h *post-mortem* e, posteriormente, que se estabeleçam os efeitos dos diferentes tempos de resfriamento das carcaças sobre a qualidade da carne desses animais; tal qual registrado por Paul (1964), um dos poucos, se não, o único estudo, que avaliou o efeito de diferentes tempos de resfriamento das carcaças sobre os parâmetros tecnológicos da carne de coelho. Ao armazenar meia carcaça de matrizes jovens de Nova Zelândia Branco, abatidas aos 4 – 5 meses de idade, com peso vivo de 2,7 a 3,2 kg, a 5°C por 0, 2, 4, 6, 12 ou 24h, o autor verificou que as perdas de cozimento foram menores às 0 e 24h do que nos tempos intermediários, assim como para a força de cisalhamento, que diminuiu com o avançar de cada tempo de armazenamento, das 2h às 12h.

Diante desse cenário, fica evidente que o resfriamento das carcaças nas primeiras horas *post-mortem* representa um ponto crítico na produção da carne cunícula, pois apesar de sua reconhecida importância para os parâmetros higiênicos

e tecnológicos da carne, representa um dos maiores custos para a indústria, pela manutenção de suas câmaras frigoríficas em constante operação.

Congelamento das carcaças e parâmetros tecnológicos da carne de coelho

A carne de coelho inspecionada no Brasil tem sido comercializada, quase que em sua totalidade congelada, na forma de carcaça inteira, ou ainda, em menor escala, em cortes especiais. Ainda no frigorífico, esses produtos são embalados e diretamente armazenados em túneis de congelamento rápido, a fim de retardar os processos de deterioração promovidos pela ação de microrganismos específicos e pela oxidação lipídica (Faustman et al., 2010; Wen et al., 2015).

O congelamento das carcaças estende ainda mais a vida útil da carne de coelho em relação ao processo de resfriamento (Li et al., 2018), sobretudo quando empregadas temperaturas inferiores a -18°C (ultracongelamento), pois preservam a integridade dos tecidos de maneira superior aos métodos convencionais de congelamento a -12°C (Dalle Zotte, 2002). Ainda assim, suas propriedades físico-químicas podem ser alteradas durante o congelamento (Lan et al., 2016).

Quando comparada à carne *in natura*, a carne de coelho congelada parece apresentar menor capacidade de retenção de água, independente do tempo de armazenamento (Cabanes et al., 1996). No entanto, a redução da capacidade de água nesse caso se dá prioritariamente pela lesão tecidual causada pelos consecutivos processos de congelamento e descongelamento, e não por variações no pH durante o período de armazenamento (Hulot & Ouhayoun, 1999). É certo que nem sempre estes processos irão acarretar em perdas de peso por cozimento severas, tampouco prejudicar a maciez da carne (Cabanes et al., 1996; Dalle Zotte et al., 1998). Isso porque o congelamento não interrompe por completo as reações enzimáticas, sobretudo as hidrolíticas, e, portanto, o processo de maturação segue, mesmo sob temperaturas negativas (Dalle Zotte, 2002).

Cabanes et al. (1996) observaram que o tempo de congelamento pode aumentar ligeiramente as perdas por descongelamento das carcaças dos coelhos, porém, Dalle Zotte et al. (1998) verificaram que essas perdas podem ser ainda mais intensas nos cortes cárneos. Contudo, os resultados para estas e demais

propriedades físicas da carne de coelho pós-congelamento são ainda ambíguos e necessitam de melhor elucidação.

O congelamento também pode influenciar negativamente alguns parâmetros químicos, indicadores de evolução bioquímica da carne, como pH e oxidação lipídica (Dalle Zotte, 2002). Apesar do congelamento retardar o processo de desaminação proteica, ele parece não evitar que o pH continue a se elevar após meses de armazenamento (Hulot & Ouhayoun, 1999). Durante o congelamento da carne de coelho, o pH muscular tem demonstrado permanecer estável por até três meses, seguidos por uma ascensão progressiva até 15 meses (Dalle Zotte et al., 1998) ou até mesmo por até 18 meses de armazenamento (Cabanès et al., 1996). Senesi et al. (1976) reportaram, ainda, que a carne congelada por até seis meses apresentou maior acidez (pH: 5,3 – 5,5) que a carne *in natura* (pH: 5,9).

Os lipídios da carne de coelho também podem sofrer alterações durante o armazenamento em baixas temperaturas devido à lipólise e oxidação, resultando em deterioração da qualidade (Alasnier et al., 2000), caracterizada pela degradação sensorial e perda de valor nutricional (Monahan, 2000; Campo et al., 2006)

Hernández et al. (2008), estudando os efeitos do armazenamento sobre o conteúdo dos principais ácidos graxos livres da carne de coelho, verificaram aumento na quantidade de todos os ácidos graxos livres avaliados, atingindo até 428 mg/100 g de carne após sete dias de armazenamento. Alasnier et al. (2000) também reportaram um decréscimo de ácidos graxos de cadeia curta e um aumento em PUFA nos diferentes músculos dos coelhos após sete dias de armazenamento (Cambero et al., 1991).

Maiores taxas de oxidação lipídica também foram observadas em carnes de coelho congeladas, quando comparadas à carne de peixe, com aumento progressivo até os nove meses de armazenamento, quando, então, começou a oscilar até os 18 meses de congelamento (Cabanès et al., 1996). No entanto, as taxas de oxidação lipídica na carne de coelho têm sido objeto de pouco estudo, mesmo se tratando de um produto com conteúdo relativamente alto de ácidos graxos poli-insaturados (Dalle Zotte & Szendro, 2011; Petracci & Cavani, 2013) e, portanto, susceptível à rancificação oxidativa durante o armazenamento (Fernández-Esplá & O'Neill, 1993).

As carcaças de coelhos também depositam gordura em regiões corporais

bastante específicas, a saber, nas porções inguinal, peri-renal e escapular (Blasco et al., 1993), contudo, a composição dos ácidos graxos destas porções distintas pode variar mais do que aquela da gordura intramuscular (Cortinas et al., 2004; Villaverde et al., 2006). Sendo assim, os cortes podem apresentar diferentes susceptibilidades à peroxidação lipídica durante o congelamento prolongado, quer seja por meio da formação de óxidos de colesterol ou por alterações na composição dos ácidos graxos, quer seja pela produção de compostos voláteis, os quais influenciam diretamente a qualidade da carne (Adeyemi et al., 2022; Al Jumayi et al., 2022), sendo rotineiramente expressos por meio da quantificação das substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (análise TBARS) (Kim et al., 2021).

Hernández et al. (2008) ainda verificaram valores mais altos de peróxido e para TBARS, ambos parâmetros oxidativos, os quais aumentaram juntamente com o período de armazenamento. Valores similares de TBARS para carne de coelho já foram anteriormente publicados por Hernández et al. (2002). Contudo, apesar da carne de coelho congelada apresentar maior vida de prateleira, suas propriedades físico-químicas e qualidade sensorial podem sofrer alguma alteração durante o congelamento a longo prazo e descongelamento como qualquer outra carne (Kondratowicz & Chwastowska, 2006).

Daí a necessidade de novos estudos que abordem as alterações na qualidade físico-química da carne de coelho armazenada a curto e longo prazo, haja visto os efeitos deletérios observados no sabor, odor, maciez, cor e vida útil do produto final, sobretudo pelo grande número de carcaças congeladas e comercializadas pela indústria ainda na fase *pré-rigor mortis* (Hulot & Ouhayoun, 1999).

Rigor mortis e metabolismo muscular post-mortem

O *rigor mortis*, ou também conhecido como rigidez cadavérica, é o processo que ocorre após o abate dos animais de produção, no qual tem início uma série de transformações físico-químicas nos tecidos musculares, culminando no enrijecimento da carcaça dentro de algumas horas iniciado o período *post-mortem*. O estudo referência de Bate-Smith & Bendall (1949) descreve três fases distintas do *rigor mortis* em coelhos, as quais são corroboradas por Bendall (1973), são elas:

- Fase de atraso (*delay phase*): período em que não há alteração na elasticidade do músculo. Sua extensibilidade permanece constante e elevada, tal qual ao percebido no momento do abate. Sua duração pode ser praticamente zero, caso os animais se encontrem em exaustão, por falta de suas reservas energéticas.
- Fase rápida (*rapid phase* ou *onset phase*): tem seu início quando a extensibilidade do músculo começa a declinar e termina quando a extensibilidade alcança seu mínimo. O período em que ocorre o início da fase rápida é definido como início do rigor (*rigor onset*) e aquele em que ocorre completa redução da extensibilidade é definido como estabelecimento do rigor (*rigor completion*).
- Fase pós-rigor (*post rigor phase*): período em que a extensibilidade volta a ser constante, porém com valores mínimos. O músculo pós-rigor permanece inextensível até que alterações estruturais promovidas pela degradação proteolítica, especialmente atribuída à ação enzimática das calpaínas e calpastatinas, ocorram e confiram certo grau de extensibilidade novamente, etapa definida como resolução do rigor (Aberle et al., 2001).

Os mecanismos de conversão do músculo em carne estão longe de serem completamente compreendidos, especialmente em coelhos. Até o presente momento, sabe-se que esse processo envolve diversas e complexas reações bioquímicas. Contudo, a implementação de uma nova fase *post-mortem* responsável pelo amaciamento da carne chamada de apoptose tem sido recentemente considerada por cientistas da carne (Ouali et al., 2006; Shi et al., 2021). A rota apoptótica ocorreria imediatamente após a morte do animal e constituiria a primeira etapa da conversão do músculo em carne, por meio da morte celular programada mediada por um grupo particular de enzimas denominadas caspases. Uma vez ativado, este fenômeno teria importantes consequências sobre as já conhecidas e bem descritas fases *post-mortem*, como, por exemplo, no estabelecimento do *rigor mortis*, devido à depleção do ATP e à quebra da estrutura miofibrilar, resultando na redução da resistência mecânica da carne (D'alessandro et al., 2012; Almeida et al.,

2013; Shi et al., 2021)

O desenvolvimento do *rigor mortis* pode ser avaliado de diversas maneiras, mas no espectro da Ciência da Carne tem sido preconizado sua caracterização por meio dos registros da evolução do pH, do aumento da dureza dos músculos e do consequente aumento na maciez da carne durante o armazenamento *post-mortem* (Paul, 1964; Sánchez-Macías et al., 2019; Yan et al., 2022). Nesse contexto, a mensuração do comprimento do sarcômero é primordial, pois está intimamente relacionado aos níveis de contração/relaxamento muscular observados nas diferentes fases do *rigor mortis*, e, também, ao índice de fragmentação das miofibrilas que progride com a resolução do rigor, impactando diretamente a maciez da carne (Wheeler & Koohmaraie, 1994; Yan et al., 2022).

Além do índice de fragmentação miofibrilar e do comprimento do sarcômero, utilizados na determinação da maciez da carne de diversas espécies, outros métodos tem sido adaptados e empregados para a carne de coelho, com destaque para Análise do Perfil de Textura (*Texture Profile Analysis* - TPA) e força de cisalhamento (*Warner-Bratzler*) para avaliações objetivas (Koziol et al., 2017; Krunt et al., 2022; Rao et al., 2022) e painel sensorial para aquelas subjetivas (Adeyemi et al., 2022; Honrado et al., 2022).

A análise física de extensão do músculo também tem sido conduzida por meio das medidas de flexibilidade e extensibilidade e, mais recentemente, por medidas de tensão isométrica (Busch et al., 1972; Aberle et al., 2001; Sánchez-Macías et al., 2019), conforme ilustra o gráfico da Figura 4, em que podem ser observadas as distintas três fases do rigor.

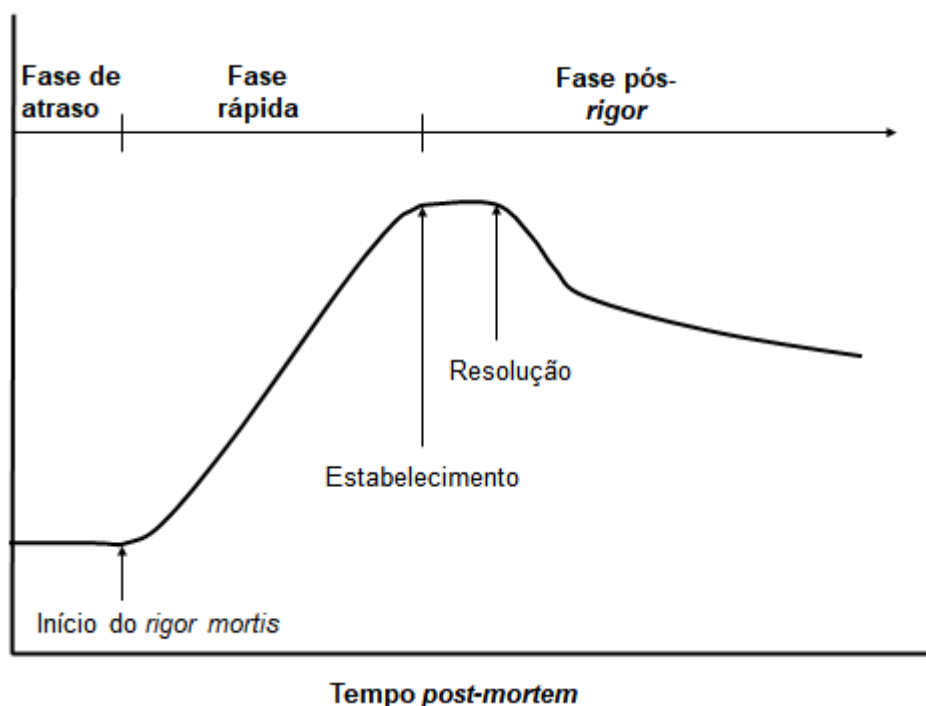


Figura 4. Desenvolvimento hipotético da tensão isométrica durante o desenvolvimento do *rigor mortis*. Fonte: Adaptado de Aberle et al. (2001).

Busch et al. (1972) demonstraram que o desenvolvimento e o respectivo declínio da tensão isométrica *post-mortem* ocorrem de maneira diversa nos músculos *psaos* de coelhos, quando armazenados em diferentes temperaturas. Os autores observaram, ainda, aumento na tensão isométrica cerca de 2h *post-mortem*, atingindo seu máximo 5h *post-mortem* (55 g/cm²), enquanto seu declínio ocorreu rapidamente, retornando a praticamente 0 g/cm² dentro de 12h *post-mortem*. Após a queda da tensão isométrica o comprimento do sarcômero reduziu cerca de 10 a 25% do tamanho original (2,5 µm).

Em termos bioquímicos, o que ocorre é que com a interrupção do fluxo sanguíneo, em decorrência do abate dos animais, o abastecimento de oxigênio, nutrientes e demais metabólitos para os tecidos corporais cessa, enquanto o tecido muscular segue produzindo e consumindo adenosina trifosfato (ATP), sua principal fonte energética prontamente disponível (Aberle et al., 2001; Matarneh et al., 2017).

Além do ATP, os músculos ainda utilizam outras reservas energéticas, como adenosina difosfato (ADP), glicogênio e fosfocreatina para tentar manter a

homeostase do organismo mesmo após a morte. Como a concentração de ADP residual é relativamente alta, estas são refosforiladas à ATP na presença da fosfocreatina, na tentativa de manter o metabolismo muscular. No entanto, os níveis de fosfocreatina são baixos e se esgotam rapidamente, dando lugar à ressíntese de ATP por meio da glicólise muscular (Bendall, 1973; Greaser, 1986; Aberle et al., 2001).

Isso porque, a fim de manter as demandas metabólicas do organismo, tem-se início a glicogenólise, com a conversão do glicogênio em glicose no sarcoplasma, que por sua vez é convertida a piruvato (Nelson & Cox, 2000; Matarneh et al., 2017). Na presença do oxigênio, o piruvato formado a partir da glicólise entra na mitocôndria, onde é convertido em acetil-CoA, é introduzido no Ciclo de Krebs e segue pela Cadeia Transportadora de Elétrons, até que seja convertido a dióxido de carbono e água, fornecendo, então, energia suficientemente necessária à refosforilação do ADP para manutenção do metabolismo muscular por meio dessas reações sequenciais, compondo o “mecanismo oxidativo”, principal rota metabólica utilizada pelos músculos para sintetizar ATP no período *post-mortem* (Greaser, 1986; Nelson & Cox, 2000).

Quando as reservas de oxigênio se esgotam, o “mecanismo oxidativo” dá lugar à via glicolítica anaeróbica por meio da síntese de ácido láctico, a partir do piruvato, de maneira a obter ATP de forma rápida, compreendendo o “mecanismo glicolítico” (Aberle et al., 2001; Matarneh et al., 2017).

À medida que as reservas de glicogênio presentes nos músculos vão sendo também consumidas, tem-se um acúmulo de ácido láctico que promove a queda do pH muscular, o que resulta na inativação das enzimas envolvidas no processo de glicólise, encerrando, em definitivo, a refosforilação do ADP (Greaser, 1986; Matarneh et al., 2017). Essa acidificação muscular promovida pelo acúmulo de ácido láctico constitui um dos fatores mais importantes para a transformação do músculo em carne, impactando diretamente a qualidade final da carne.

Logo, a inibição da síntese de ATP faz com que complexos actomiosínicos sejam permanentemente formados, conferindo aos músculos um estado de rigidez e inextensibilidade permanentes, diferentemente de sua natureza flexível e elástica, antes observada, caracterizando, por fim, o estabelecimento do *rigor mortis* na

carcaça dos animais (Bendall, 1973; Greaser, 1986; Aberle et al., 2001; Matarneh et al., 2017).

Durante a primeira etapa do rigor (fase de atraso), os músculos dos coelhos são ainda extensíveis pois há ATP disponível para se vincular ao Mg^{+2} , o que ajuda a desconectar as pontes cruzadas de actina/miosina e que, por sua vez, permite o relaxamento muscular (Savell et al., 2005). Já à medida que se inicia o declínio dos níveis de ATP, tem, também, início a redução da extensibilidade muscular (Bendall, 1973). Bendall (1973) ainda verificou que quando o nível de ATP cai pela metade, ocorre 50% de declínio na extensibilidade dos músculos dos coelhos.

Em estudos subsequentes, verificou-se que a perda da extensibilidade tem seu início quando a concentração média de ATP é de 1,0 $\mu\text{mol/g}$ (Hamm, 1982; Honikel et al., 1981), com contínuo declínio até alcançar níveis abaixo de 0,1 $\mu\text{mol/g}$, ao atingir a inextensibilidade máxima (Hamm, 1982; Honikel et al., 1981); níveis bem abaixo da quantidade máxima normalmente armazenada para atender as demandas energéticas dos animais vivos (5 a 8 $\mu\text{mol/g}$ de tecido muscular) (Matarneh et al., 2017). Em músculos de coelhos, essa queda nos níveis de ATP tem início quando a concentração de fosfocreatina é menor que 4 $\mu\text{mol/g}$ de músculo (Bendall, 1973).

O processo glicolítico também pode variar amplamente de acordo com os procedimentos empregados às carcaças nas primeiras horas *post-mortem*, com forte influência sobre os atributos da carne de maior interesse ao consumidor final, como cor e maciez (Dalle Zotte, 2002).

Encurtamento pelo frio e rigor de descongelamento

Diante de todo o contexto apresentado, o binômio resfriamento/congelamento deve ser avaliado de maneira estratégica pela indústria cunícula, quando elaborado um plano de conservação das carcaças sob baixas temperaturas, tomando-se em conta o tempo necessário para o completo estabelecimento do *rigor mortis*.

A adoção dessas medidas, evitaria, em partes ou no todo, as perdas em qualidade da carne ocasionadas pelo encurtamento pelo frio (*cold shortening*), quando a carcaça é exposta a altas taxas de resfriamento antes de estabelecido o *rigor mortis*, e também pelo rigor de descongelamento (*thaw rigor*), que ocorre ao se

congelar a carcaça antes do completo estabelecimento do *rigor mortis* (Hulot & Ouhayoun, 1999; Aberle et al., 2001; Yan et al., 2022), ambos levando a irreversíveis alterações na maciez da carne.

O encurtamento pelo frio ocorre, geralmente, quando a temperatura do músculo oscila entre 0 e 5°C na primeira fase do *rigor mortis*. Nessas condições, o retículo sarcoplasmático perde a capacidade de reter os íons Ca^{+2} , fazendo com que sejam excessivamente liberados no sarcoplasma, com consequente aceleração das reações bioquímicas e redução de 20 a 40 % no comprimento do sarcômero (Kanda et al., 1977; Byrne et al., 2000).

Já Aberle et al. (2001) atestaram que o rigor de descongelamento é uma forma de *rigor mortis* que se desenvolve quando o músculo que foi congelado na fase pré-rigor é descongelado. Os autores ainda atestam que quando o músculo é descongelado, ocorre contração produzida pela súbita liberação de íons Ca^{+2} no sarcoplasma, resultando em um encurtamento físico de 60 a 80% do comprimento original do músculo bovino e em uma liberação de grande quantidade de exsudato, com severo endurecimento.

Os resultados encontrados na literatura referentes ao fenômeno do encurtamento pelo frio em coelhos são controversos e precisam ser melhor elucidados, mas é fato que o rigor de descongelamento é geralmente mais intenso do que o encurtamento pelo frio em carcaças de coelhos, como já registrado por Lawrie (1968) para o músculo *semitendinosus*, que apresentou maior encurtamento dos sarcômeros devido ao rigor de descongelamento (39%) do que pelo encurtamento pelo frio (24%), e para o músculo *psoas major* que resistiu ao encurtamento pelo frio, mas reduziu em 73% o comprimento dos sarcômeros pela ação do rigor de descongelamento.

O controle do período e da taxa de resfriamento das carcaças poderia ser, portanto, a maneira mais plausível de prevenir o encurtamento pelo frio, e também o rigor de descongelamento, logo após o abate (Savell et al., 2005), o que em partes conferiria melhor aceitação do consumidor pela carne de coelho, ao se apresentar mais macia.

Conclusões

O Brasil possui pleno potencial para alavancar a produção interna da carne de coelho e contribuir de forma mais significativa para o mercado agropecuário nacional e até mesmo alçar voos maiores com o abastecimento do mercado externo. Mas para que isso ocorra, é necessário que haja uma transformação mais profunda nos hábitos de consumo da população, com maior investimento em políticas públicas e ações de marketing específicas direcionadas à divulgação dos benefícios da carne de coelho para a saúde humana. Além disso, os avanços tecnológicos propostos e corroborados por pesquisas científicas devem ser consonantes com a realidade da indústria, levando em consideração os seus diferentes graus de tecnificação e a adequação de seus processos em toda a cadeia de refrigeração da carne. Dessa forma, a indústria é fortalecida e se cria uma base sólida para a comercialização de produtos com atestada qualidade física, química e nutricional.

Portanto, fazem-se necessários novos estudos com foco nos mais diversos processos de refrigeração das carcaças de coelhos e que tenham como objetivo, não somente a caracterização do *rigor mortis* dentre categorias, raças e linhagens específicas, mas, também, a avaliação das alterações dos parâmetros tecnológicos em diferentes cortes, quando armazenados sob distintas condições antes, durante e após a resolução do *rigor mortis*.

Referências

Adeolu, A.I.; Anosike, F.C.; Nwose, R.N.; Adeolu, N.I.; Awah, E.; Abiola, E.M. Alleviating Micronutrient Malnutrition within 1000 Days' Window Period Using Rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) Meat. *Pak. J. Nutr.* **2020**, *19* (5), 239-244.

Adeyemi, K.D.; Oladele, T.O.; Atolani, O.; Sulaimon, R.O.; Zubair, J.I.; Ajao, B.H. Dietary Plukenetia Conophora Seed Alters Muscle Cholesterol, Antioxidant Enzymes, and Fatty Acids in Growing Rabbits. *Meat Sci.* **2022**, *189* (108809), 108809.

Abdel-Naeem, H. H., Sallam, K. I., & Zaki, H. M. (2021). Effect of different cooking methods of rabbit meat on topographical changes, physicochemical

characteristics, fatty acids profile, microbial quality and sensory attributes. *Meat Science*, 181, 108612.

Aberle, E. D., Forrest, J. C., Gerrard, D. E., Mills, E. W., Hedrick, H. B., Judge, M. D., & Merkel, R. A. (2001). *Principles of meat science*, 4th ed. Kendall. 354 pp.

ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal. (2020). *Relatório Anual*, 139pp.

Adeolu, A. I., Anosike, F. C., Nwose, R. N., Adeolu, N. I., Awah, E. & Abiola, E. M. (2020). Alleviating Micronutrient Malnutrition within 1000 Days' Window Period Using Rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) Meat. *Pakistan Journal of Nutrition*, 19, 239-244.

Adeyemi, K. D., Oladele, T. O., Atolani, O., Sulaimon, R. O., Zubair, J. I., & Ajao, B. H. (2022). Dietary Plukenetia conophora seed alters muscle cholesterol, antioxidant enzymes, and fatty acids in growing rabbits. *Meat Science*, 189, 108809.

Alasnier, C., David-Briand, E., & Gandemer, G. (2000). Lipolysis in Muscles during Refrigerated Storage as Related to the Metabolic Type of the Fibres in the Rabbit Meat *Sci.*, 54, 127–134.

Al Jumayi, H. A., Allam, A. Y., El-Beltagy, A. E. D., Algarni, E. H., Mahmoud, S. F., & El Halim Kandil, A. A. (2022). Bioactive Compound, Antioxidant, and Radical Scavenging Activity of Some Plant Aqueous Extracts for Enhancing Shelf Life of Cold-Stored Rabbit Meat. *Antioxidants*, 11(6), 1056.

Almeida, A., Eckersall, D., Bencurova, E., Dolinska, S., Mlynarcik, P., & Vincova, M. (2013). *Farm Animal Proteomics*; & Bhide, M., Ed.

Andrea, B.S. Rabbit Production in Costa Rica: Breaking with Tradition. (2014). In *Investigación em la cunicultura de las Américas*; Pérez, Y.E.F., Ed.; Toluca, México; 324–332.

Bate-Smith, E. C., & Bendall, J. R. (1949). Factors determining the time course of *rigor mortis*. *The Journal of physiology*, 110(1-2), 47.

Becerra-Tomás, N., Babio, N., Martínez-González, M. Á., Corella, D., Estruch, R., Ros, E., ... & Salas-Salvadó, J. (2016). Replacing red meat and processed red meat for white meat, fish, legumes or eggs is associated with lower risk of incidence of metabolic syndrome. *Clinical nutrition*, 35(6), 1442-1449.

Becerril-Pérez C, M. (2006). A Reflection on Rabbit Production in Emergent

Countries: The Case of Mexico. In Proc.: *3rd Rabbit Congress of the Americas*; Maringá, Brazil, 16.

Belury, M. A., Ros, E., & Kris-Etherton, P. M. (2022). Weighing Evidence of the Role of Saturated and Unsaturated Fats and Human Health. *Advances in Nutrition*, 13(2), 686-688.

Bendall, J. R. (1973). The biochemistry of *rigor mortis* and cold-contraction. In *Proceedings of the 19th European meeting of meat research workers* (pp. 2-7).

Bendall, J. R., Hallund, O., & Wismer-Pedersen, J. (1963). Post-Mortem Changes in the Muscles of Landrace Pigs a. *Journal of Food Science*, 28(2), 156-162.

Bianospino, E., Wechsler, F. S., Fernandes, S., Roça, R. D. O., & Moura, A. S. A. M. T. (2006). Growth, carcass and meat quality traits of straightbred and crossbred Botucatu rabbits. *World Rabbit Science*, 237-246.

Birolo, M., Trocino, A., Zuffellato, A., & Xiccato, G. (2021). Time-based restriction and refeeding programmes in growing rabbits: Effects on feeding behaviour, feed efficiency, nutrient digestibility, and caecal fermentative activity. *Animal Feed Science and Technology*, 282, 115128.

Bivolarski, B. L., Vachkova, E. G., & Ribarski, S. S. (2011). Effect of weaning age upon the slaughter and physicochemical traits of rabbit meat. *Veterinarski arhiv.*, 81(4), 499-511.

Blasco, A., & Piles, M. (1990). Muscular pH of the rabbit. In *Annales de Zootechnie*, 39, (2), 133-136.

Blasco, A., Nagy, I., & Hernández, P. (2018) Genetics of Growth, Carcass and Meat Quality in Rabbits. *Meat Sci.*, 145, 178–185

Blasco Mateu, A., Ouhayoun, J., & Masoero, G. (1993). Harmonization of criteria and terminology in rabbit meat research. *World Rabbit Science*, 1(1).

Blecha, J., & Davis, A. (2014). Distance, proximity, and freedom: Identifying conflicting priorities regarding urban backyard livestock slaughter. *Geoforum*, 57, 67-77.

Bonamigo, A., Duarte, C., Winck, C., & Sehnem, S. (2017). Produção Da Carne Cunícula No Brasil Como Alternativa Sustentável. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 10,1247. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2017v10n4p1247-1270>

Busch, W. A., Goll, D. E., & Parrish Jr, F. C. (1972). Molecular properties of postmortem muscle. Isometric tension development and decline in bovine, porcine and rabbit muscle. *Journal of Food Science*, 37(2), 289-299.

Byrne, C. E., Troy, D. J., & Buckley, D. J. (2000). Postmortem changes in muscle electrical properties of bovine *M. longissimus dorsi* and their relationship to meat quality attributes and pH fall. *Meat Science*, 54(1), 23-34.

Cabanes, A., Ouhayoun, J., & Gilbert, S. (1996). Congélation de la viande de lapin: Influence de la durée de conservation sur les propriétés physico-chimiques et sensorielles (3, 6, 9, 12 et 18 mois). *Viandes et produits carnés (Aubière)*, 17(4), 166-171.

Cambero, M.I., de la Hoz, L., Sanz, B., & Ordoñez, J.A. (1991). Lipid and Fatty Acid Composition of Rabbit Meat: Part 2.-Phospholipids. *Meat Sci.*, 29, 167–176,

Campo, M.M., Nute, G.R., Hughes, S.I., Enser, M., Wood, J.D., & Richardson, R.I. (2006). Flavour Perception of Oxidation in Beef. *Meat Sci.*, 72, 303–311;

Cardinali, R., Cullere, M., Dal Bosco, A., Mugnai, C., Ruggeri, S., Mattioli, S., ... & Dalle Zotte, A. (2015). Oregano, rosemary and vitamin E dietary supplementation in growing rabbits: Effect on growth performance, carcass traits, bone development and meat chemical composition. *Livestock Science*, 175, 83-89.

Carrillo-Lopez, L. M., Robledo, D., Martínez, V., Huerta-Jimenez, M., Titulaer, M., Alarcon-Rojo, A. D., ... & Garcia-Flores, L. R. (2021). *Post-mortem* ultrasound and freezing of rabbit meat: Effects on the physicochemical quality and weight loss. *Ultrasonics Sonochemistry*, 79, 105766.

Casares-Crespo, L., Fernández-Serrano, P., & Viudes-De-Castro, M. P. (2018). Protection of GnRH analogue by chitosan-dextran sulfate nanoparticles for intravaginal application in rabbit artificial insemination. *Theriogenology*, 116, 49-52.

Castellini, C., Dal Bosco, A., Bernardini, M., & Cyril, H. W. (1998). Effect of dietary vitamin E on the oxidative stability of raw and cooked rabbit meat. *Meat Science*, 50(2), 153-161.

Cifre, J., Baselga, M., García-Ximénez, F., & Vicente, J. S. (1998). Performance of a hyperprolific rabbit line I. Litter size traits. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 115(1-6), 131-138.

Colin, M, & Lebas, F. (1996). Rabbit Meat Production in the World. A Proposal

for Every Country. In *Proc.: 6th World Rabbit Congress*; Toulouse, France, 3, 323–330.

Corpet, D. E. (2011). Red meat and colon cancer: should we become vegetarians, or can we make meat safer?. *Meat science*, 89(3), 310-316.

Cortazar, G., & Martinez, M. (2006) An approach towards the rabbit production in Colombia. In *Proc.: 3rd Rabbit Congress of the Americas*; 21-23 August, Maringá, Brazil.

Cortinas, L., Villaverde, C., Galobart, J., Baucells, M.D., Codony, R., & Barroeta, A.C. (2004). Fatty Acid Content in Chicken Thigh and Breast as Affected by Dietary Polyunsaturation Level. *Poult. Sci.*, 83, 1155–1164.

Villaverde, C., Baucells, M.D., Cortinas, L., & Barroeta, A.C. (2006). Effects of Dietary Concentration and Degree of Polyunsaturation of Dietary Fat on Endogenous Synthesis and Deposition of Fatty Acids in Chickens. *Br. Poult. Sci.*, 47, 173–179.

Cullere, M., & Dalle Zotte, A. (2018). Rabbit meat production and consumption: State of knowledge and future perspectives. *Meat Science*, 143, 137-146.

Dal Bosco, A., Castellini, C., Martino, M., Mattioli, S., Marconi, O., Sileoni, V., ... & Benincasa, P. (2015). The effect of dietary alfalfa and flax sprouts on rabbit meat antioxidant content, lipid oxidation and fatty acid composition. *Meat science*, 106, 31-37.

D'Alessandro, A., Rinalducci, S., Marrocco, C., Zolla, V., Napolitano, F., & Zolla, L. (2012). Love Me Tender: An Omics Window on the Bovine Meat Tenderness Network. *J. Proteomics*, 75, 4360–4380.

Dalle Zotte, A. (2002). Perception of rabbit meat quality and major factors influencing the rabbit carcass and meat quality. *Livestock Production Science*, 75(1), 11-32.

Dalle Zotte, A., Cullere, M., Sartori, A., Dal Bosco, A., Gerencsér, Z., Matics, Z., ... & Szendrő, Z. (2014). Effect of dietary supplementation of spirulina (*Arthrospira platensis*) and thyme (*Thymus vulgaris*) on carcass composition, meat physical traits, and vitamin B12 content on growing rabbits. *World Rabbit Science*, 22(1), 11-19.

Dalle Zotte, A., & Szendrő, Z. (2011). The role of rabbit meat as functional food. *Meat Science*, 88(3), 319-331.

Dalle Zotte, A., & Ouhayoun, J. J. M. S. (1998). Effect of genetic origin, diet and weaning weight on carcass composition, muscle physicochemical and histochemical traits in the rabbit. *Meat science*, 50(4), 471-478.

Daszkiewicz, T., & Gugolek, A. (2020). A Comparison of the Quality of Meat from Female and Male Californian and Flemish Giant Gray Rabbits. *Animals*, 10(12), 2216.

De Blas, C., & Wiseman, J. (Ed.). (2020) *Nutrition of the Rabbit*. Cambridge: CAB International.

Deltoro, J., López, A. M., & Camacho, J. (1988). Seasonal effects on the patterns of deposition of water, fat and protein in rabbit meat. *Meat science*, 23(2), 87-97.

Demirok, E., Veluz, G., Stuyvenberg, W. V., Castaneda, M. P., Byrd, A., & Alvarado, C. Z. (2013). Quality and safety of broiler meat in various chilling systems. *Poultry Science*, 92(4), 1117-1126.

De Oliveira Otto, M. C., Alonso, A., Lee, D. H., Delclos, G. L., Bertoni, A. G., Jiang, R., ... & Nettleton, J. A. (2012). Dietary intakes of zinc and heme iron from red meat, but not from other sources, are associated with greater risk of metabolic syndrome and cardiovascular disease. *The Journal of nutrition*, 142(3), 526-533.

Dihigo, L.E., & Ponce De León, R.E. (2006). The Cuban Rabbit Production, an Alternative for the Meat Production. Nowadays Situation. In *Memorias del 3er Congreso de Cunicultura de las Américas*; Maringá, Brasil, 37–40.

Dransfield, E., & Sosnicki, A. A. (1999). Relationship between muscle growth and poultry meat quality. *Poultry science*, 78(5), 743-746.

Ebeid, T. A., Tůmová, E., Al-Homidan, I. H., Ketta, M., & Chodová, D. (2022). The potential role of feed restriction on productivity, carcass composition, meat quality, and muscle fibre properties of growing rabbits: A review. *Meat Science*, 108845.

El-Tarabany, M. S., El-Tarabany, A. A., & Ahmed-Farid, O. A. (2021). Effect of cage density on growth rate, carcass traits, muscle amino acid profile, and antioxidant biomarkers of commercial rabbits. *Tropical Animal Health and Production*, 53(3), 1-8.

Escriba-Pérez, C., Baviera-Puig, A., Montero-Vicente, L., & Buitrago-Vera, J.

(2019). Children's consumption of rabbit meat. *World Rabbit Science*, 27(3), 113-122.

Escriba-Perez, C., Baviera-Puig, A., Buitrago-Vera, J., & Montero-Vicente, L. (2017). Consumer profile analysis for different types of meat in Spain. *Meat science*, 129, 120-126.

Etemadi, A., Sinha, R., Ward, M. H., Graubard, B. I., Inoue-Choi, M., Dawsey, S. M., & Abnet, C. C. (2017). *Mortality from different causes associated with meat, heme iron, nitrates, and nitrites in the NIH-AARP Diet and Health Study: population based cohort study. BMJ*, 357.

European Comission. (2017). *Overview Report: Commercial Rabbit Farming in the European Union*.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the Unites Nations Corporate Statistical Database. (2020). Crops and livestock products. Disponível em <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>>. Acesso em 10 mai. 2022.

Faustman, C., Sun, Q., Mancini, R., & Suman, S. P. (2010). Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control. *Meat science*, 86(1), 86-94.

Fernandez-Esplá, M. D., & O'NEILL, E. (1993). Lipid oxidation in rabbit meat under different storage conditions. *Journal of Food Science*, 58(6), 1262-1264.

Ferreira, W.M., Machado, L.C., Jaruche, Y.D.G., Carvalho, G.D., Oliveira, C.D., Souza, J.A.S., & Caríssimo, A.P. (2012). *Manual Prático de Cunicultura; Associação Brasileira de Cunicultura: Bambuí*.

Ferreira, W. M., Machado, L. C., Ramirez, M. A., & Ferreira, S.R.A. (2010). The Rabbit Production in Brazil. In *Proc.: 4th American Rabbit Congress*; Córdoba, Argentina, 24–26.

Gál, R., Zapletal, D., Jakešová, P., & Straková, E. (2022). Proximate Chemical Composition, Amino Acids Profile and Minerals Content of Meat Depending on Carcass Part, Sire Genotype and Sex of Meat Rabbits. *Animals*, 12(12), 1537.

Gasperlin, L., Polak, T., Rajar, A., Skvarèa, M., & Zlender, B. (2006). Effect of genotype, age at slaughter and sex on chemical composition and sensory profile of rabbit meat. *World Rabbit Science*, 14(3).

Ghoneim, S. S., Nasr, S. A., El-Wardany, I., Farid, A., Ahmed, A. H., & Abdel-Kafy, E. M. (2022). The Impact of Re-Mating Interval and Genotype on Physiological

Response of Rabbits after First Kindling. *Modern Applied Science*, 16(1).

Gondret, F., Juin, H., Mourot, J., & Bonneau, M. (1998). Effect of age at slaughter on chemical traits and sensory quality of *Longissimus lumborum* muscle in the rabbit. *Meat science*, 48(1-2), 181-187.

Greaser, M. L. (1986). Conversion of muscle to meat. In *Muscle as Food* (pp. 37-102).

Hamm, R. (1982). *Post-mortem* changes in muscle with regard to processing of hot-boned beef. *Acta Alimentaria Polonica*, 8(3-4).

Hannula, T., & Puolanne, E. (2004). The effect of cooling rate on beef tenderness: The significance of pH at 7 C. *Meat Science*, 67(3), 403-408.

Heker, M.M. (2015). Opinião: A Cunicultura Pet No Brasil. *Revista Brasileira de Cunicultura*, 1–8.

Hermida, M., Gonzalez, M., Miranda, M., & Rodríguez-Otero, J. L. (2006). Mineral analysis in rabbit meat from Galicia (NW Spain). *Meat Science*, 73(4), 635-639.

Hernández, J. A. M., Hurtado, M. M. C., Pons, R. M. G., Fandos, E. G., López-García, E., Vinuesa, J. M., ... & Díaz, L. D. (2020). Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) de revisión y actualización de las Recomendaciones Dietéticas para la población española. *Revista del Comité Científico de la AESAN*, (32), 11-58.

Hernández, P., Cesari, V., & Blasco, A. (2008). Effect of Genetic Rabbit Lines on Lipid Content, Lipolytic Activities and Fatty Acid Composition of Hind Leg Meat and Perirenal Fat. *Meat Sci.*, 78, 485–491.

Hernández, P., & Dalle Zotte, A. (2020). Influence of diet on Rabbit meat quality. *Nutrition of the Rabbit*; CABI Publishing: Wallingford, UK, 172-192. In: Nutrition of the rabbit. Edited by C. de Blas, Univesidad Poletenica, Madrid, J. Wiseman, University of Nottingham, UK, 3rd ed., ISBN-13:978 1 78924 127 3

Honikel, K. O. (1991). Assessment of meat quality. In *Animal Biotechnology and The Quality of Meat Production* (pp. 107-125). Elsevier.

Honikel, K. O., Fischer, C., Hamid, A., & Hamm, R. (1981). Influence of postmortem changes in bovine muscle on the water-holding capacity of beef. Postmortem storage of muscle at 20° C. *Journal of Food Science*, 46(1), 1-6.

Hopkins, D. L., Ponnampalam, E. N., Van De Ven, R. J., & Warner, R. D. (2014). The effect of pH decline rate on the meat and eating quality of beef carcasses. *Animal Production Science*, 54(4), 407-413.

Huang, Y., Cao, D., Chen, Z., Chen, B., Li, J., Guo, J., ... & Wei, Q. (2021). Red and processed meat consumption and cancer outcomes: Umbrella review. *Food Chemistry*, 356, 129697.

Hulot, F., & Ouhayoun, J. (1999). Muscular pH and related traits in rabbits: a review. *World Rabbit Science*, 7(1).

Hunter, R. W., Dhaun, N., & Bailey, M. A. (2022). *The impact of excessive salt intake on human health. Nature Reviews Nephrology*, 18(5), 321-335.

Hwang, I. H., & Thompson, J. M. (2001). The interaction between pH and temperature decline early postmortem on the calpain system and objective tenderness in electrically stimulated beef longissimus dorsi muscle. *Meat Science*, 58(2), 167-174.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2017). Censo Agropecuário: Tamanho do rebanho, Estabelecimentos, Maior produtor. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/coelhos/br>. Acesso em 11 mai. 2022.

Ikeuchi, Y., Ito, T., & Fukazawa, T. (1980). Change in the properties of myofibrillar proteins during *post-mortem* storage of muscle at high temperature. *Journal of agricultural and food chemistry*, 28(6), 1197-1202.

IndexBox. (2020). *EU – Rabbit or Hare Meat – Market Analysis, Forecast, Size, Trends and Insights*.

Institute of Medicine. Food and Nutrition Board (IOM/FNB). (1998). *Dietary Reference Intakes for Thiamin, Riboflavin, Niacin, Vitamin B6, Folate, Vitamin B12, Pantothenic Acid, Biotin, and Choline*. Washington, DC: The National Academies Press. 592 p. <https://doi.org/10.17226/6015>.

Iso, I. E., & Kennedy, O. O. O. (2021). Growth performance, carcass and meat quality of rabbits fed mistletoe leaf meal diet. *Journal of Livestock Science (ISSN online 2277-6214)*, 12, 220-228.

Ito, S., Bosch, J., Martínez-Avilés, M., & Sánchez-Vizcaíno, J. M. (2022). The Evolution of African Swine Fever in China: A Global Threat?. *Frontiers in veterinary*

science, 9, 828498. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.828498>.

James, S. (1996). The chill chain “from carcass to consumer”. *Meat Science*, 43, 203-216.

Kanda, T., Pearson, A. M., & Merkel, R. A. (1977). Influence of pH and temperature upon calcium accumulation and release by bovine sarcoplasmic reticulum. *Food Chemistry*, 2(4), 253-266.

Khadr, A. H., Abdou, A., & El-Sherbiny, A. M. (2015). Age of puberty and fertility of male new zealand white rabbits orally administered with royal jelly or/and bee honey. *Journal of Animal and Poultry Production*, 6(4), 201-217.

Kim, S., Kim, J. C., Park, S., Kim, J., Yoon, Y., & Lee, H. (2021). Identification of microbial flora in dry aged beef to evaluate the rancidity during dry aging. *Processes*, 9(11), 2049.

Kondratowicz, J.; & Chwastowska, I. (2006) Technological Quality of Pork Deep-Frozen Directly Post-Slaughter or after 24h Chilling, Measured during 12-Months of Storage. *Animal Science Papers and Reports*, 24.

Koohmaraie, M., Doumit, M. E., & Wheeler, T. L. (1996). Meat toughening does not occur when rigor shortening is prevented. *Journal of Animal Science*, 74(12), 2935-2942.

Koohmaraie, M., Kent, M. P., Shackelford, S. D., Veiseth, E., & Wheeler, T. L. (2002). Meat tenderness and muscle growth: is there any relationship?. *Meat science*, 62(3), 345-352.

Kozioł, K., Siudak, Z., Pałka, S., Kmiecik, M., Otwinowska-Mindur, A., Migdał, Ł., Bieniek, J. (2017). The Effect of Breed and Sex on the Texture of Rabbit Meat. *Roczniki Naukowe Polskiego Towarzystwa Zootechnicznego*, 13, 55–60.

Knudsen, C., Combes, S., Briens, C., Coutelet, G., Duperray, J., Rebours, G., ... & Gidenne, T. (2014). Increasing the digestible energy intake under a restriction strategy improves the feed conversion ratio of the growing rabbit without negatively impacting the health status. *Livestock Science*, 169, 96-105.

Kosmalski, M., Pękala-Wojciechowska, A., Sut, A., Pietras, T., & Luzak, B. (2022). Dietary Intake of Polyphenols or Polyunsaturated Fatty Acids and Its Relationship with Metabolic and Inflammatory State in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus. *Nutrients*, 14(5), 1083.

Krunt, O., Zita, L., Kraus, A., Bureš, D., Needham, T., & Volek, Z. (2022). The Effect of Housing System on Rabbit Growth Performance, Carcass Traits, and Meat Quality Characteristics of Different Muscles. *Meat Sci.*, 193, 108953.

Honrado, A., Aínsa, A., Marquina, P.L., Beltrán, J.A., & Calanche, J.B. (2022). Low-Fat Fresh Sausage from Rabbit Meat: An Alternative to Traditional Rabbit Consumption. *Meat Sci.*, 194, 108973.

Krunt, O., Zita, L., Kraus, A., & Volek, Z. (2021). How can housing system affect growth and carcass traits, meat quality and muscle fiber characteristics in biceps femoris and mineral content of tibia and femur bones in growing rabbits?. *Livestock Science*, 249, 104531.

Kunutsor, S. K., Voutilainen, A., Kurl, S., & Laukkanen, J. A. (2022). Serum copper-to-zinc ratio is associated with heart failure and improves risk prediction in middle-aged and older Caucasian men: A prospective study. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*.

Kvartnikova, E. G., & Shastina, E. V. (2022). Efficiency of meat-fattening rabbits farmed by different keeping technologies. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*, 17(1), 104-111.

Lan, Y., Shang, Y., Song, Y., & Dong, Q. (2016). Changes in the quality of superchilled rabbit meat stored at different temperatures. *Meat Science*, 117, 173-181.

Lawrie, R. A. (1968). 'Thaw-rigor' and 'cold-shortening' in rabbit muscle. *International Journal of Food Science & Technology*, 3(3), 203-205.

Leroy, F., & Petracci, M. (2021). Rabbit meat: valuable nutrition or too-cute-to-eat?. *World Rabbit Science*, 29(4), 239-246.

Leroy, F., & Praet, I. (2017). Animal killing and postdomestic meat production. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 30(1), 67-86.

Li, S., Zeng, W., Li, R., Hoffman, L. C., He, Z., Sun, Q., & Li, H. (2018). Rabbit meat production and processing in China. *Meat Science*, 145, 320-328.

Lippi, G., Mattiuzzi, C., & Cervellin, G. (2016). Meat consumption and cancer risk: a critical review of published meta-analyses. *Critical reviews in oncology/hematology*, 97, 1-14.

Lombardi-Boccia, G., Lanzi, S., & Aguzzi, A. (2005). Aspects of meat quality:

trace elements and B vitamins in raw and cooked meats. *Journal of food Composition and Analysis*, 18(1), 39-46.

Lukefahr, S. D., & Cheeke, P. R. (1990). Rabbit project planning strategies for developing countries. (1) Practical considerations. *Livestock Research for Rural Development*, 2(2), 1-21.

Lukefahr, S. D., & Cheeke, P. R. (1991). Rabbit project development strategies in subsistence farming systems. *World Animal Review*, 68, 60-70.

Machado, L. C. (2012). Opinião: Panorama da Cunicultura Brasileira. *Revista Brasileira de Cunicultura*, 2, 1.

Machado, L. C. (2015). Pesquisas de preferência, divulgação da atividade de cunicultura e mercado pet cunícula brasileiro. *Revista Brasileira de Cunicultura*, 8, 1-12.

Machado, L. C., & Ferreira, W. M. (2014). Opinião: Organização e estratégias da cunicultura brasileira—buscando soluções. *Revista Brasileira de Cunicultura*, 6(1).

Magalhães, L. C. C., Costa, R. B., & de Camargo, G. M. F. (2022). Consumption of rabbit meat in Brazil: Potential and limitations. *Meat Science*, 108873.

Matarneh, S. K., England, E. M., Scheffler, T. L., & Gerrard, D. E. (2017). The conversion of muscle to meat. In *Lawrie's Meat Science* (pp. 159-185). Woodhead Publishing.

Martínez-Paredes, E., Nicodemus, N., Pascual, J. J., & García, J. (2022). Challenges in rabbit doe feeding, including the young doe. *World Rabbit Science*, 30(1), 13-34.

Marsh, B. B. (1954). *Rigor mortis* in beef. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 5(2), 70-75.

Marsh, B. B., Ringkob, T. P., Russell, R. L., Swartz, D. R., & Pagel, L. A. (1987). Effects of early-postmortem glycolytic rate on beef tenderness. *Meat Science*, 21(4), 241-248.

Mattioli, S., Castellini, C., Mancini, S., Roscini, V., Mancinelli, A. C., Cotozzolo, E., ... & Dal Bosco, A. (2020). Effect of trub and/or linseed dietary supplementation on in vivo oxidative status and some quality traits of rabbit meat. *Meat science*, 163, 108061.

McAfee, A. J., McSorley, E. M., Cuskelly, G. J., Moss, B. W., Wallace, J. M., Bonham, M. P., & Fearon, A. M. (2010). Red meat consumption: An overview of the risks and benefits. *Meat science*, 84(1), 1-13.

McKee, S. R., & Sams, A. R. (1998). *Rigor mortis* development at elevated temperatures induces pale exudative turkey meat characteristics. *Poultry Science*, 77(1), 169-174.

Mickelson, M. A., & Claus, J. R. (2020). Carcass chilling method effects on color and tenderness of bison meat. *Meat science*, 161, 108002.

Monahan, F.J. (2001) *Antioxidants in Muscle Foods: Nutritional Strategies to Improve Quality*, 1.

Moura, A.S.A.M. Rabbit Production in Latin America. (2010) In *Proc.: 4th American Rabbit Congress*; Córdoba, Argentina, 24–26.

Moura, A.S.A.M.T., Polastre R., & Wechsler F, S. (2000) Dam and Litter Inbreeding and Environmental Effects on Litter Performance in Botucatu Rabbits. *World Rabbit Science*, 8(4), 151–157.

Moura, A.S.A.M.T., & Costa A, R.C. (2001) Variance Componentes and Response to Selection for Reproductive, Litter and Growth Traits through a Multi-Purpose Index. *World Rabbit Sci.*, 9(2) 77–86.

Negretti, P., Bianconi, G., & Finzi, A (2007). Visual Image Analysis to Estimate Morphological and Weight Measurements in Rabbits. *World Rabbit Science*, 15, 37–41.

Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2000). In *Principles of Biochemistry*. Lehninger, ed., 318-319.

Nistor, E., Bampidis, V. A., Păcală, N., Pentea, M., Tozer, J., & Prundeanu, H. (2013). Nutrient content of rabbit meat as compared to chicken, beef and pork meat. *Journal of animal production advances*, 3(4), 172-176.

Olmedilla-Alonso, B., Jiménez-Colmenero, F., & Sánchez-Muniz, F. J. (2013). Development and assessment of healthy properties of meat and meat products designed as functional foods. *Meat science*, 95(4), 919-930.

Osechas, D., & Sánchez, L.M.B. (2006). Producción y Mercadeo de Carne de Conejo Em El Estado Trujillo, Venezuela. Venezuela. *Rev. Cient. (Maracaibo)*, 16, 129–135.

Oseni, S. O., & Lukefahr, S. D. (2014). Rabbit production in low-input systems in Africa: situation, knowledge and perspectives—A review. *World rabbit science*, 22(2), 147-160.

Ouali, A., Herrera-Mendez, C.H., Coulis, G., Becila, S., Boudjellal, A., Aubry, L., & Sentandreu, M.A. (2006). Revisiting the Conversion of Muscle into Meat and the Underlying Mechanisms. *Meat Sci.*, 74, 44–58.

Ouhayoun, J. (1989). La composition corporelle du lapin: facteurs de variation. *INRA Productions Animales*, 2(3), 215-226.

Ouhayoun, J., & Dalle Zotte, A. (1996). Harmonization of muscle and meat criteria in rabbit meat research. *World Rabbit Science*, 4(4), 211-218.

Ouhayoun, J., Daudin, J. D., Raynal, H., de Dapper, J., Lapanouse, A., & Tartie, V. (1990). Technologie de l'abattage du lapin. II Influence de la température de l'air de réfrigération sur les pertes d'eau et sur l'acidification musculaire. *Viandes Prod. Carnès*, 11, 69-73.

Ouhayoun, L., Rouvier, R., Valin, C., & Lacourt, A. (1973). Variation génétique de l'évolution *post-mortem* du pH du tissu musculaire du lapin. *Journées Recherches Avicoles et Cunicoles en France*, 75-78.

Papadomichelakis, G., Zoidis, E., Pappas, A. C., Mountzouris, K. C., & Fegeros, K. (2017). Effects of increasing dietary organic selenium levels on meat fatty acid composition and oxidative stability in growing rabbits. *Meat science*, 131, 132-138.

Partridge, G. G., Allan, S. J., Findlay, M., & Corrigall, W. (1984). The effects of reducing the remating interval after parturition on the reproductive performance of the commercial doe rabbit. *Animal Science*, 39(3), 465-472.

Pascual Amorós, J. J. (2001). Early weaning of young rabbits: a review. *World Rabbit Science*, 9(4).

Paul, P. C. (1964). The rabbit as a source of experimental material for meat studies. *Journal of Food Science*, 29(6), 865-871.

Perez-Arnedo, I., Cantalejo, M. J., Martínez-Laorden, A., & Gonzalez-Fandos, E. (2021). Effect of processing on the microbiological quality and safety of chicken carcasses at slaughterhouse. *International Journal of food science & Technology*, 56(4), 1855-1864.

Petracci, M., & Cavani, C. (2013). Rabbit meat processing: historical perspective to future directions. *World Rabbit Science*, 21(4), 217-226.

Petracci, M., Soglia, F., & Leroy, F. (2018). Rabbit meat in need of a hat-trick: from tradition to innovation (and back). *Meat Science*, 146, 93-100.

Petrescu, D. C., & Petrescu-Mag, R. M. (2018). Consumer behaviour related to rabbit meat as functional food. *World Rabbit Science*, 26(4), 321-333.

Pfisterer, K. J., Sharratt, M. T., Heckman, G. G., & Keller, H. H. (2016). Vitamin B12 status in older adults living in Ontario long-term care homes: prevalence and incidence of deficiency with supplementation as a protective factor. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 41(2), 219-222.

Prates, J. A. M., Costa, F. J. G., Ribeiro, A. M. R., & Correia, A. A. D. (2002). Contribution of major structural changes in myofibrils to rabbit meat tenderisation during ageing. *Meat Science*, 61(1), 103-113.

Quagliariello, R. G., & Lafalla Manzano, L. P. (2021). Rabbit meat contribution to vulnerable family diet, in Mendoza northeastern departments, Argentina. In *Proceedings of 12th World Rabbit Congress* (pp. O-09).

Ramos, E. M., & Gomide, L. A. M. (2017). *Avaliação da Qualidade de Carnes: Fundamentos e Metodologias*: Editorial Viçosa UFV.

Rao, J.-W., Meng, F.-B., Li, Y.-C., Chen, W.-J., Liu, D.-Y., & Zhang, J.-M. (2022). Effect of Cooking Methods on the Edible, Nutritive Qualities and Volatile Flavor Compounds of Rabbit Meat. *J. Sci. Food Agric.*, 102, 4218–4228.

Rees, M. P., Trout, G. R., & Warner, R. D. (2003). The influence of the rate of pH decline on the rate of ageing for pork. I: interaction with method of suspension. *Meat Science*, 65(2), 791-804.

Roça, R. D. O. (2000). *Tecnologia da carne e produtos derivados*. Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, 202p.

Romero, C., Cuesta, S., Astillero, J.R., Nicodemus, N., De Blas, C. (2010) Effect of Early Feed Restriction on Performance and Health Status in Growing Rabbits Slaughtered at 2 Kg Live-Weight. *World Rabbit Sci.*, 18.

Salas, P.F. La Cunicultura Em Equador. (2006). In *Proc.: 3rd Rabbit Congress of the Americas*; Maringá, Brazil.

Sams, A. R., & Janky, D. M. (1991). Characterization of *rigor mortis*

development in four broiler muscles. *Poultry Science*, 70(4), 1003-1009.

Sánchez-Macías, D., Cevallos-Velastegui, L., Nuñez-Valle, D., & Morales-delaNuez, A. (2019). First report of postmortem pH evolution and *rigor mortis* in guinea pigs. *Livestock Science*, 229, 22-27

Savell, J. W., Mueller, S. L., & Baird, B. E. (2005). The chilling of carcasses. *Meat science*, 70(3), 449-459.

Selim, S., Seleiman, M. F., Hassan, M. M., Saleh, A. A., & Mousa, M. A. (2021). Impact of dietary supplementation with *Moringa oleifera* leaves on performance, meat characteristics, oxidative stability, and fatty acid profile in growing rabbits. *Animals*, 11(2), 248.

Senesi, E., Crivelli, G., Maestrelli, A., Caserio, G., & Patano, C. (1976). Qualitative and histological aspects of the frozen rabbit: influence of the packaging. *Imballaggio*, 27(239) p. 27-29.

Shi, H., Shahidi, F., Wang, J., Huang, Y., Zou, Y., Xu, W., & Wang, D. (2021). Techniques for Postmortem Tenderisation in Meat Processing: Effectiveness, Application and Possible Mechanisms. *Food Prod Process and Nutr.*, 3.

Silva, B. P., Bassiga, B. A., da Silva Ferreira, M. F. D., de Oliveira Carniatto, C. H., de Araújo Feitosa, L. G., de Lima Batista, A. E., ... & Correa, V. G. (2020). Consumo de Carne de Coelho: Aspectos Culturais e Sensoriais. *Brazilian Journal of Development*, 6(11), 93361-93371.

Silva, K.G. da, Borges, T.D., Costa, L.B., Sotomaior, C.S. (2021). Characteristics of Meat, Pet, and Research Rabbit Farms in Brazil: An Overview Based on Twelve Farms. *World Rabbit Sci.*, 29, 115.

Smulders, F. J. M., Toldra, F., Flores, J., & Prieto, M. (1992). New technologies for meat and meat products. *Utrecht: Audet Tijdschriften*, 182, 186-188.

Stevenson, K. E., Merkel, R. A., & Lee, H. C. (1978). Effects of chilling rate, carcass fatness and chlorine spray on microbiological quality and case-life of beef. *Journal of Food Science*, 43(3), 849-852.

Tariq, M. R., Khan, M. I., Sameen, A., & Nisa, M. (2016). Effect of flaxseed enrichment on quality attributes of rabbit meat and meat product. *JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences*, 26(6).

Thiam, M., Tovignon, G. C. Z., Toure, A. I., Kimse, M., Obiang, C. S., Mboko,

A. V., ... & Tedonkeng, E. P. (2021). Effects of incorporation levels of Pueraria phaseoloides leaf flour on carcass characteristics and chemical composition of meat from local rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) in South-East Gabon. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15(3), 869-878.

Tornberg, E. (1996). Biophysical aspects of meat tenderness. *Meat science*, 43, 175-191.

Tůmová, E., Bízková, Z., Skřivanová, V., Chodová, D., Martinec, M., & Volek, Z. (2014) Comparisons of Carcass and Meat Quality among Rabbit Breeds of Different Sizes, and Hybrid Rabbits. *Livest. Sci.* 165, 8–14.

United Nations Children's Fund (UNICEF). (2020). *Review of national Food-Based Dietary Guidelines and associated guidance for infants, children, adolescents, and pregnant and lactating women*. New York: UNICEF.

USDA. United States Department of Agriculture. 2022. Livestock and Poultry: World Markets and Trade. Disponível em <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf>. Acesso em 10 jun. 2022.

Wang, Z., He, Z., Zhang, D., Chen, X., & Li, H. (2022). Effect of pepper (*Zanthoxylum bungeanum Maxim.*) essential oil on quality changes in rabbit meat patty during chilled storage. *Journal of Food Science and Technology*, 59(1), 179-191.

Wang, Z., He, Z., Zhang, D., Li, H., & Wang, Z. (2020). Using oxidation kinetic models to predict the quality indices of rabbit meat under different storage temperatures. *Meat science*, 162, 108042.

Warner, R., Miller, R., Ha, M., Wheeler, T. L., Dunshea, F., Li, X., ... & Wheeler, T. (2021). Meat tenderness: Underlying mechanisms, instrumental measurement, and sensory assessment. *Meat and Muscle Biology*, 4(2).

Wheeler, T. L., & Koohmaraie, M. (1994). Prerigor and postrigor changes in tenderness of ovine longissimus muscle. *Journal of animal science*, 72(5), 1232-1238.

Wen, W., Luo, X., Xia, B., Guan, J., Nie, Y., Li, L., ... Sun, Q. (2015). Post-mortem oxidative stability of three yak (*Bos grunniens*) muscles as influenced by animal age. *Meat Science*, 105, 121–125.

- Wilson, W. K., & Dudley, F. J. (1952). The duration of gestation in rabbit breeds and crosses. *Journal of Genetics*, 50(3), 384-391.
- Wong, C. W. (2015). *Vitamin B12 deficiency in the elderly: is it worth screening*. *Hong Kong Med J*, 21(2), 155-64.
- Wu, L. (2022). Rabbit meat trade of major countries: regional pattern and driving forces. *World Rabbit Science*, 30(1), 69-82.
- Xia, W., Hughes, J., Robertson, D., Jiang, X. (2021). *How One Pandemic Led To Another: Was African Swine Fever Virus (ASFV) The Disruption Contributing To Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (Sars-cov-2) Emergence?*. *Preprints*, 2021020590 (doi: 10.20944/preprints202102.0590.v2).
- Yan, T., Hou, C., Wang, Z., Li, X., Chen, L., Liang, C., ... & Zhang, D. (2022). Effects of chilling rate on progression of *rigor mortis* in postmortem lamb meat. *Food Chemistry*, 373, 131463.
- Yang, C., Pan, L., Sun, C., Xi, Y., Wang, L., & Li, D. (2016). Red meat consumption and the risk of stroke: a dose–response meta-analysis of prospective cohort studies. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, 25(5), 1177-1186.
- Zeferino, C.P., Moura, A.S.A.M.T., Fernandes, S., Kanayama, J.S., Scapinello, C., & Sartori, J.R. (2011). Genetic Group×ambient Temperature Interaction Effects on Physiological Responses and Growth Performance of Rabbits. *Livest. Sci.*, 140, 177–183.
- Zhang, Y. M., Hopkins, D. L., ZHAO, X. X., van de Ven, R., MAO, Y. W., ZHU, L. X., ... & Xin, L. U. O. (2018). Characterisation of pH decline and meat color development of beef carcasses during the early postmortem period in a Chinese beef cattle abattoir. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(7), 1691-1695.

CAPÍTULO 2 – Caracterização da evolução do pH muscular *post-mortem* e do processo de *rigor mortis* em carcaças de coelhos Botucatu de diferentes categorias²

Resumo

O objetivo desse estudo foi avaliar as características de carcaça, acompanhar a evolução do pH durante as primeiras 24h *post-mortem* e determinar o tempo necessário para estabelecimento e resolução do *rigor mortis* em diferentes categorias de coelhos Botucatu. O peso vivo ao abate, os pesos e rendimentos de carcaça foram maiores nos animais em idade reprodutiva, independentemente do sexo. Houve efeito do músculo, da idade e do sexo sobre a cinética de acidificação muscular, onde o m. *biceps femoris* apresentou maior pH que o m. *longissimus lumborum*. Já o estabelecimento do *rigor mortis* se deu às 5h *post-mortem* em coelhos jovens e reprodutores e às 6h *post-mortem* em matrizes, concomitantemente com a estabilização do pH, enquanto a resolução do rigor ocorreu às 18h *post-mortem*. Conclui-se, portanto, que as carcaças de coelhos Botucatu devam ser resfriadas por no mínimo 18h ininterruptas a 4°C para que o processo de *rigor mortis* e a transformação do músculo em carne ocorram eficientemente em toda a carcaça.

Palavras-chave: Acidificação muscular, Carne de coelho, Ciência da carne, Cunicultura, *Oryctolagus cuniculus*, Qualidade da Carne

Introdução

A Comissão de Harmonização da Associação Científica Mundial de Cunicultura (WRSA) tem proposto a padronização de diversas técnicas empregadas no registro das características de carcaças e demais critérios relacionados à avaliação da qualidade da carne do coelho doméstico (*Oryctolagus cuniculus*

² Este capítulo corresponde ao artigo científico submetido à revista *Meat Science* e encontra-se em avaliação para publicação.

domesticus) (Ouhayoun & Dalle Zotte, 2010). Dentre essas recomendações, sugere-se que a carcaça quente seja resfriada por 24h em câmara fria ventilada, sob temperatura de $2 \pm 2^{\circ}\text{C}$, para que ao final desse período sejam registradas perda por gotejamento, rendimento, peso e composição de carcaça (Ouhayoun & Dalle Zotte, 2010). Contudo, tais medidas divergem das práticas rotineiramente adotadas na indústria cunícula, sobretudo em países ocidentais em desenvolvimento como México, Peru, Colômbia, Brasil, Equador e Argentina, os maiores produtores da carne de coelho na América Latina (FAOSTAT, 2020), onde as carcaças quentes são imediatamente refrigeradas em túneis de congelamento rápido, sob temperaturas inferiores a -18°C .

O congelamento precoce das carcaças, logo nas primeiras horas *post-mortem*, tem sido frequentemente justificado pela redução de custos operacionais advindos do funcionamento prolongado dos sistemas de arrefecimento das câmaras frias, face ao irregular fluxo de produção da carne de coelho e sua incipiente demanda de mercado. No entanto, tem-se observado que os diferentes padrões de refrigeração das carcaças têm influenciado a taxa de acidificação muscular e, conseqüentemente, os parâmetros tecnológicos da carne (Dalle Zotte, 2002), sobretudo pela velocidade de queda do pH nos diferentes músculos, associada ao esgotamento de suas reservas energéticas e à produção de ácido láctico na primeiras horas *post-mortem* (Bate-Smith & Bendall, 1949).

Imediatamente após o abate dos animais, o valor do pH muscular é próximo à neutralidade e dentro de poucas horas ele se estabiliza (*ultimate pH*) (Ouhayoun & Dalle Zotte, 2010). Estudos clássicos demonstram que as carcaças dos coelhos podem alcançar seu pH final após as primeiras 12h *post-mortem*, ao serem armazenadas a 0°C (Ikeuchi et al., 1980). Da mesma forma, carcaças de fêmeas Nova Zelândia Branco, abatidas aos 4 – 5 meses de idade, com peso vivo de 6 a 7 lb, podem apresentar completo desenvolvimento e resolução do processo de *rigor mortis* também nas 12h seguintes ao abate, quando resfriadas a 5°C (Paul, 1964). Tais evidências indicam que possa haver um ponto de interseção entre as recomendações técnicas atualmente preconizadas pela WRSA e as reais necessidades da indústria.

São vários os fatores que influenciam a acidificação muscular nos primeiros

estágios *post-mortem*, entre eles, as condições do manejo pré-abate (Bate-Smith & Bendall, 1949), o tempo e a temperatura de resfriamento das carcaças (Hannula & Puolanne, 2004), a raça, a idade, o sexo e o peso vivo dos animais ao abate (Hulot & Ouhayoun, 1999). Paradoxalmente, são bastante escassos os estudos que traçam o pH muscular ao longo das primeiras 24h *post-mortem* em coelhos abatidos comercialmente (Ikeuchi et al., 1980; Paul, 1964), especialmente quando novas linhagens genéticas e raças de diferentes portes têm sido introduzidas no mercado cárneo, tal qual já registrado para outras espécies domésticas como bovinos (Hwang & Thompson, 2001; Zhang et al., 2018), ovinos (Wheeler & Koohmaraie, 1994), suínos (Rees et al., 2003) e até mesmo porquinhos-da-índia (Sánchez-Macías et al., 2019).

Assim, visando aprimorar a acurácia dos critérios de harmonização e a padronização dos métodos de pesquisa na cunicultura de corte e, concomitantemente, contribuir para a produção de uma carne de maior qualidade, este estudo buscou avaliar as características de carcaças, caracterizar o processo de *rigor mortis* e os efeitos do sexo, da idade e dos músculos sobre a evolução do pH muscular nas primeiras 24h *post-mortem* em coelhos do grupo genético Botucatu abatidos em condições industriais.

Material e métodos

Animais

Foram utilizadas 80 carcaças de coelhos Botucatu distribuídos dentre quatro categorias: fêmeas e machos jovens aos 3 meses de idade, reprodutores e matrizes de descarte aos 12 meses de idade [n=20/categoria]. O grupo genético Botucatu é uma linhagem de porte médio, com dupla aptidão, selecionada para tamanho de ninhada e características de crescimento (Moura et al., 2000). Originados a partir de coelhos híbridos Norfolk 2000 (Nova Zelândia Branco vs Califórnia vs Gigante de Bouscat) (Moura et al., 2001), os coelhos Botucatu têm sido implementados com bastante sucesso nas granjas cunículas do Brasil nos últimos anos, apresentando, também, bons resultados em termos de desempenho, características de carcaça e qualidade da carne (Bianospino et al., 2006), motivos pelos quais foram escolhidos

para compor este estudo.

Os coelhos foram criados sob mesmas condições de manejo nutricional e ambiental no Setor Experimental de Cunicultura da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista (FCAV/UNESP), Campus de Jaboticabal, Brasil (21°14'S, 48° 17'W, 583 m altitude) e abatidos em frigorífico comercial para abate de coelhos tipo exportação, inspecionado pelo Serviço de Inspeção Federal (S.I.F.), localizado em Mairinque, SP. O estudo foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da referida Instituição (protocolo n. 1924/22).

Aos 35 dias de idade, os lâparos foram desmamados e, então, alojados individualmente em gaiolas de arame galvanizado (modelo *flat-deck*) até atingirem a idade de abate (90 dias) ou até serem descartados em plena fase de reprodução (aos 12 meses de idade) por não mais apresentarem desempenho reprodutivo satisfatório (baixa libido, anestro persistente, diminuição do número de lâparos por ninhada e baixa habilidade materna), de forma a se obter 20 animais por categoria, de forma aleatória dentro da população local. Durante todo esse período, os coelhos receberam água e feno de capim *Coast-Cross* (*Cynodon dactylon* (L.) pers.) *ad libitum* e ração padrão peletizada única de forma controlada (14% de Proteína Bruta, 3% de Extrato Etéreo, 18% de Fibra Bruta, 15% de Matéria Mineral, 5% de Fósforo, 10% de Cálcio e 13% de Umidade), de acordo com cada categoria animal (De Blas e Wiseman, 2010).

Os animais foram transportados para o frigorífico em caminhão refrigerado, com temperatura interna média de 18°C. O transporte teve duração de aproximadamente 4h e os animais foram submetidos a jejum e descanso pré-abate de 12h (Cavani & Petracci, 2004). O peso vivo ao abate foi registrado logo após o desembarque dos animais no frigorífico para que não houvesse efeito do estresse ocasionado pela pesagem sobre o pH das carcaças.

Abate, características de carcaça e pH

Os animais foram abatidos segundo os procedimentos rotineiramente adotados pela planta frigorífica, sem que houvesse qualquer interferência no fluxo de

abate, respeitando-se todas as exigências operacionais constantes no Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal – RIISPOA (Brasil, 2017, 2020). Sendo assim, os coelhos foram insensibilizados por eletronarcose, (110V, 60Hz, 1,40A e duração média de 3 segs), atendendo às recomendações do Regulamento (CE) Nº 1099/2009 (Council Regulation, 2009), quando foram, então, pendurados pelos membros traseiros, exsanguinados por meio do corte da artéria carótida e da veia jugular, esfolados e, por fim, eviscerados. O peso da carcaça quente (PCQ) foi registrado e o cálculo do rendimento da carcaça quente (RCQ) foi adaptado e realizado de acordo com Ouhayoun & Dalle Zotte (2010), como segue:

$$RCQ = \frac{\text{Peso de carcaça quente}}{\text{Peso vivo ao abate}} \times 100$$

Não foram consideradas como partes da carcaça quente: a cabeça, o fígado, os rins, os órgãos do tórax e do pescoço, pois estes são retirados ao longo da linha de abate. Não há no Brasil a cultura de se comercializar carcaças de coelhos com cabeça, além do que, o decreto nacional de 9.013/2017 determina que suas carcaças devam ser desprovidas de cabeça (Brasil, 2017); sendo assim, esta não foi incluída para fins de cálculos das características de carcaças.

Em seguida, as carcaças quentes foram armazenadas em câmara fria ventilada à temperatura média de 4°C por 24h, com velocidade de circulação do ar ajustada (0,3 a 1,0 m/s) para o adequado resfriamento das carcaças.

O pH e a temperatura das carcaças foram aferidos *in situ* no lado esquerdo da carcaça por meio de medidor digital portátil (Testo 205), acoplado a um eletrodo de penetração, por meio de sua inserção direta em aproximadamente 5 cm do músculo *longissimus lumborum* (LL), na altura da 5ª vértebra lombar, e no músculo *biceps femoris* (BF), pela parte interna da coxa (Pla & Dalle Zotte, 2000). As aferições ocorreram a cada 60 minutos em todas as carcaças até que se completassem as 24h *post-mortem*. A primeira aferição foi realizada ainda na carcaça quente, logo após a evisceração. Além da configuração padrão no painel da câmara fria, sua temperatura interna foi monitorada ao longo de todo o período com auxílio de um termohigrômetro digital (Incoterm 7666).

Após as 24h *post-mortem*, as carcaças foram novamente pesadas para obtenção do peso (PCF) e rendimento da carcaça fria (RCF), de acordo com os cálculos preconizados por Blasco Mateu et al. (1993), como segue:

$$RCF = \frac{\text{Peso de carcaça fria}}{\text{Peso vivo ao abate}} \times 100$$

Avaliação do *rigor mortis*

O desenvolvimento do *rigor mortis* foi, ainda, avaliado de forma manual, concomitantemente às aferições do pH, de maneira similar àquela realizada por Sánchez-Macías et al. (2019) para carcaças de porquinhos-da-índia, adaptada de Varetto & Curto (2005). A coxa esquerda foi suspensa com uma mão e a articulação tibiotársica esquerda com a outra, na tentativa de que o joelho pudesse ser flexionado. Em um primeiro momento, quando não era mais possível flexionar a articulação femorotibiopatelar, ou ainda que em poucos graus, considerou-se que houve o estabelecimento do rigor. Já em um segundo momento, quando percebeu-se que a articulação femorotibiopatelar poderia ser novamente flexionada, considerou-se que houve a resolução do *rigor mortis*.

Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas com o programa estatístico SAS (versão 9.1, SAS Institute Inc., Cary, NC). O Procedimento *General Linear Models* (Proc GLM) foi utilizado para avaliar as características de carcaça, considerando os efeitos do sexo e da idade de abate, e também para caracterizar a curva do pH nas primeiras 24h *post-mortem*, onde foram considerados os efeitos da idade, do sexo e do músculo em cada tempo estudado. Proc GLM para medidas repetidas no tempo foi ainda utilizado para avaliar o efeito do tempo *post-mortem* sobre o pH em uma análise distinta para cada idade, sexo e músculo. O teste Tukey foi utilizado para estabelecer as diferenças estatísticas entre as médias, com significância definida em $p < 0,05$. Foi também utilizado o teste Exato de Fischer para determinar a frequência

de ocorrência da flexão da articulação femorotibiopatelar, também com $p < 0,05$.

Resultados e discussão

Peso vivo ao abate, peso e rendimento de carcaça

Os valores referentes ao peso vivo ao abate e às características de carcaça dos coelhos Botucatu em função da idade e do sexo são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Médias (*range*) dos valores de PV, PCQ, PCF, RCQ, RCQ e RCF para carcaças de coelhos Botucatu em função da idade ao abate e do sexo.

	PV (kg)	PCQ (kg)	RCQ (%)	PCF (kg)	RCF (%)
<i>Idade (I)</i>					
3 meses	2,945 (2,400 – 3,500)	1,523 (1,355 – 1,795)	51,74 ^b	1,473 (1,300 – 1,750)	50,05 ^b
12 meses	4,235 (3,300 – 5,400)	2,276 (1,835 – 3,080)	53,78 ^a	2,216 (1,785 – 3,005)	52,36 ^a
<i>Sexo (S)</i>					
Fêmea	3,871 (2,700 – 5,400)	2,046 (1,395 – 3,080)	52,58 ^a	1,993 (1,365 – 3,005)	51,20 ^a
Macho	3,279 (2,400 – 4,400)	1,737 (1,355 – 2,320)	52,96 ^a	1,680 (1,300 – 2,265)	51,21 ^a
<i>p - valor</i>					
P (I)	<0,0001	<0,0001	0,0047	<0,0001	0,0015
P (S)	<0,0001	<0,0001	0,4718	<0,0001	0,8451
P Int. (I x S)	0,0020	0,0004	0,2309	0,0003	0,2234
CV (%)	8,97	9,07	4,02	9,05	4,09

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

PV: peso vivo ao abate; PCQ: peso da carcaça quente; RCQ: rendimento da carcaça quente; PCF: peso da carcaça fria e RCF: rendimento da carcaça fria.

Pode-se notar que houve efeito da idade de abate tanto para o rendimento da carcaça quente ($p=0,0047$) quanto para o rendimento da carcaça fria ($p=0,0015$), onde os animais mais velhos apresentaram maiores valores em relação aos animais mais jovens para ambos os rendimentos (RCQ: 51,74%_{03meses}; 53,78%_{012meses}; RCF: 50,05%_{03meses}; 52,35%_{012meses}); isso porque os coelhos apresentam contínuo desenvolvimento muscular e alométrico do percentual de gordura corporal ao longo de sua vida produtiva (Oliveira & Lui, 2006), proporcionando maior peso vivo dos animais mais velhos ao momento do abate e, conseqüentemente, carcaças mais pesadas com maiores rendimentos. Além disso, o coeficiente alométrico dos órgãos dos coelhos geralmente decresce com seu crescimento, enquanto a razão

carne:ossos é aumentada, promovendo aumento no rendimento de carcaça com o avançar da idade dos animais (Deltoro & López, 1986; Hernández et al., 2004; Oliveira & Lui, 2006).

No primeiro trabalho avaliando as características de carcaça e qualidade da carne de coelhos Botucatu, Bianospino et al. (2006) também observaram que o rendimento de carcaça referência (sem cabeça e sem vísceras) aumentou com o avançar da idade dos animais, como consequência direta do aumento de peso dos membros anteriores e posteriores, sobretudo pelo alto grau de deposição muscular no quarto traseiro aos 91 dias de idade, onde animais Botucatu puros apresentaram rendimento de carcaça referência de 53,8% aos 42 dias, aumentando progressivamente para 62,1% até atingirem 91 dias de idade, assim como registrado para coelhos Botucatu crossbreed, que saltaram de 56,7% para 61,4% no mesmo intervalo de tempo.

Além disso, diversos estudos utilizando outras raças e linhagens genéticas também verificaram que o rendimento de carcaça de coelhos de corte pode aumentar em função da idade do animal. (Dalle Zotte & Ouhayoun, 1998; Szendrö et al. 1998; Oliveira e Lui, 2006).

Crespi et al. (2008) registraram valores semelhantes de rendimento de carcaça referência para coelhos Nova Zelândia Branco, raça de corte amplamente utilizada mundialmente, variando de 50,9% a 52,8%, à medida que o peso vivo ao abate aumentou de 2,300 kg a 3,099 kg, respectivamente, com maior desenvolvimento da região lombar e posterior em animais mais pesados, com intervalo de peso entre 2,900 a 3,099 kg.

Enquanto Zeferino et al. (2013), avaliando o efeito do estresse térmico sobre as características de carcaça de coelhos Botucatu abatidos aos 70 dias de idade, verificaram valor médio de 54,89% de rendimento de carcaça referência para animais puros e 55,24% para mestiços Botucatu x Nova Zelândia Branco, similarmente aos resultados obtidos no presente estudo, demonstrando a aptidão da linhagem em questão para a produção de carne.

Foi ainda observada interação entre o sexo dos animais e a idade de abate para PV ($p=0,0020$), PCQ ($p=0,0004$) e PCF ($p=0,0003$), conforme os desdobramentos apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Desdobramento da interação entre idade de abate e sexo para PV, PCQ e PCF em coelhos Botucatu.

Sexo	Idade	
	3 meses	12 meses
<i>PV (kg)</i>		
Fêmea	3,040 (2,700 - 3,500) ^{Ab}	4,627 (4,200 - 5,400) ^{Aa}
Macho	2,850 (2,400 - 3,100) ^{Ab}	3,755 (3,300 - 3,900) ^{Ba}
<i>PCQ (kg)</i>		
Fêmea	1,554 (1,395 - 1,795) ^{Ab}	2,494 (2,245 - 3,080) ^{Aa}
Macho	1,492 (1,355 - 1,635) ^{Ab}	2,009 (1,835 - 2,320) ^{Ba}
<i>PCF (kg)</i>		
Fêmea	1,507 (1,365 - 1,750) ^{Ab}	2,435 (2,200 - 3,005) ^{Aa}
Macho	1,439 (1,300 - 1,570) ^{Ab}	1,948 (1,785 - 2,265) ^{Ba}

Médias seguidas por letras distintas nas colunas (maiúsculas) e nas linhas (minúsculas) diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

PV: peso vivo ao abate; PCQ: peso da carcaça quente e PCF: peso da carcaça fria.

Os animais abatidos em fase reprodutiva apresentaram maior peso vivo ao abate, quando comparados aos animais mais jovens, tanto entre fêmeas (3 meses: 3,040 kg; 12 meses: 4,627 g), quanto entre machos (3 meses: 2,850 kg; 12 meses: 3,755 kg), o que foi diretamente associado aos maiores valores registrados para peso de carcaça quente e fria, os quais são atribuídos aos animais mais velhos em função da diferença no peso vivo entre as categorias, tal qual registrado por Bianospino et al. (2006).

Os achados para o peso vivo das matrizes estão em acordo com aqueles publicados por Machado et al. (2020), os quais registram peso mínimo de 4 kg para matrizes Botucatu puras (4,198 kg) e mestiças com Nova Zelândia Branca (4,231 kg) aos 156 dias de idade. Moura e Fernandes (2003) também registraram peso vivo similar para matrizes Botucatu com 34 semanas de vida (4,575 kg) em seu segundo ciclo reprodutivo.

Entretanto, os coelhos jovens apresentaram o mesmo peso vivo ao abate, independentemente do sexo (fêmeas: 3,040 kg; machos: 2,850 kg), mas com diferenciação entre as classes sexuais na fase adulta, onde as fêmeas se apresentaram mais pesadas do que os machos (matrizes: 4,627 kg; reprodutores: 3,755 kg). Dalle Zotte et al. (1996), ao avaliarem o efeito da idade e do sexo em coelhos híbridos Provisal, também não evidenciaram diferenças no peso de abate de animais jovens em função do sexo, porém registraram que coelhos abatidos mais

velhos eram mais pesados que aqueles mais jovens. A mesma tendência foi registrada para o peso das carcaças quentes (fêmeas jovens: 1,554 kg e machos jovens: 1,492 kg; matrizes: 2,494 kg e reprodutores: 2,009 kg) e frias (fêmeas jovens: 1,507 kg e machos jovens: 1,439 kg; matrizes: 2,435 kg e reprodutores: 1,948 kg), onde animais mais velhos propiciaram carcaças mais pesadas em relação aos mais jovens, com efeito do sexo observado somente nas carcaças dos animais adultos.

Os valores registrados são condizentes com aqueles já reportados na literatura, onde pouco ou nenhum efeito do sexo tem sido observado sobre as características de carcaça em coelhos jovens, em idade convencional de abate, aos 75 – 90 dias de vida, uma vez que os animais nessa fase ainda não atingiram a maturidade sexual. O dimorfismo sexual em coelhos domésticos é expresso pela superioridade em ganho de peso das fêmeas, mas não é evidente antes da 15ª semana de idade (Ouhayoun, 1984), o que justificaria os resultados obtidos para a linhagem Botucatu. Além disso, o fato de as matrizes serem 18,85% mais pesadas que os reprodutores, pode, ainda, estar relacionado ao fato de que elas possuem maior percentual de tecido adiposo (Deltoro & López, 1986) e maior peso do trato gastrointestinal (Luzi et al., 2000; Bianospino et al., 2006), exercendo influência direta sobre o peso final das carcaças, porém, sem que haja impacto significativo em seu rendimento. No entanto, são inexistentes estudos que trazem à luz informações referentes às características de carcaças de matrizes e reprodutores Botucatu abatidos em estágios finais de reprodução, como apresentado no presente trabalho.

Bianospino et al. (2006) verificaram que coelhos Botucatu com 91 dias de idade atingiram 2,929 kg de peso vivo ao abate, produzindo carcaças frias de 1,492 kg, onde as características de carcaça, que refletem o desenvolvimento muscular, apresentaram aumento linear com o avanço da idade. Hernández et al. (2004) também observaram que coelhos mais velhos selecionados para taxa de crescimento apresentaram maior peso vivo ao abate e maior rendimento de carcaça, sobretudo pela menor porcentagem de órgãos e maior porcentagem de lombo. Assim como Deltoro & López (1986), ao avaliarem as características de carcaça durante o desenvolvimento de machos e fêmeas das raças Nova Zelândia Branco e Califórnia, até as 20 semanas de idade, verificaram que o rendimento de carcaça, o

conteúdo de carne magra e de gordura e a razão carne:osso na carcaça aumentaram com a idade, até que se alcançou um período de estabilização na 17ª semana de vida, com carcaças pesando em torno de 2,300 kg, indicando que o atraso na idade de abate pode ser recomendável do ponto de vista tecnológico, de forma a se obter carcaças e cortes mais pesados.

Evolução do pH

Os valores médios registrados para o pH dos músculos *longissimus lumborum* (LL) e *biceps femoris* (BF) durante as primeiras 24h *post-mortem* em coelhos Botucatu são apresentados na Tabela 3, onde o efeito do tempo *post-mortem* foi considerado em função do sexo e da idade do animal para cada músculo avaliado.

Tabela 3. Evolução do pH ($\pm$ EPM) durante as primeiras 24h *post-mortem* nos músculos *longissimus lumborum* e *biceps femoris* de coelhos Botucatu machos e fêmeas abatidos em diferentes idades.

(continua)

Tempo <i>post-mortem</i>	pH							
	<i>Longissimus lumborum</i>				<i>Biceps femoris</i>			
	3 meses de idade		12 meses de idade		3 meses de idade		12 meses de idade	
	Fêmea	Macho	Fêmea	Macho	Fêmea	Macho	Fêmea	Macho
0h	6,52 $\pm$ 0,06 ^A	6,74 $\pm$ 0,07 ^A	6,70 $\pm$ 0,07 ^A	6,63 $\pm$ 0,05 ^A	6,74 $\pm$ 0,05 ^A	6,80 $\pm$ 0,07 ^A	6,76 $\pm$ 0,07 ^A	6,74 $\pm$ 0,10 ^A
1h	6,48 $\pm$ 0,06 ^A	6,43 $\pm$ 0,07 ^B	6,68 $\pm$ 0,08 ^A	6,33 $\pm$ 0,04 ^{AB}	6,61 $\pm$ 0,06 ^A	6,62 $\pm$ 0,09 ^{AB}	6,67 $\pm$ 0,05 ^A	6,54 $\pm$ 0,05 ^{AB}
2h	6,32 $\pm$ 0,07 ^{ABC}	6,34 $\pm$ 0,07 ^{BC}	6,51 $\pm$ 0,06 ^{AB}	6,17 $\pm$ 0,07 ^{BC}	6,43 $\pm$ 0,05 ^B	6,41 $\pm$ 0,08 ^{BC}	6,51 $\pm$ 0,06 ^B	6,45 $\pm$ 0,05 ^{BC}
3h	6,20 $\pm$ 0,07 ^{BC}	6,3 $\pm$ 0,07 ^{BCD}	6,39 $\pm$ 0,05 ^{BC}	6,13 $\pm$ 0,07 ^{BC}	6,32 $\pm$ 0,03 ^{BC}	6,32 $\pm$ 0,07 ^{BC}	6,33 $\pm$ 0,02 ^C	6,41 $\pm$ 0,06 ^{BC}
4h	6,00 $\pm$ 0,09 ^{CD}	6,15 $\pm$ 0,09 ^{BCDE}	6,31 $\pm$ 0,03 ^{BCD}	6,07 $\pm$ 0,05 ^{BC}	6,24 $\pm$ 0,02 ^{CD}	6,29 $\pm$ 0,13 ^C	6,28 $\pm$ 0,03 ^{CD}	6,38 $\pm$ 0,05 ^{BCD}
5h	5,90 $\pm$ 0,07 ^{DE}	6,1 $\pm$ 0,06 ^{CDE}	6,25 $\pm$ 0,04 ^{BCD}	6,04 $\pm$ 0,03 ^C	6,24 $\pm$ 0,01 ^{CD}	6,28 $\pm$ 0,05 ^C	6,28 $\pm$ 0,03 ^{CD}	6,35 $\pm$ 0,06 ^{BCD}
6h	5,89 $\pm$ 0,06 ^{DE}	6,09 $\pm$ 0,04 ^{CDE}	6,18 $\pm$ 0,01 ^{CD}	6,05 $\pm$ 0,04 ^C	6,23 $\pm$ 0,01 ^{CDE}	6,21 $\pm$ 0,04 ^C	6,27 $\pm$ 0,01 ^{CD}	6,29 $\pm$ 0,02 ^{BCD}
7h	5,89 $\pm$ 0,03 ^{DE}	6,08 $\pm$ 0,05 ^{CDE}	6,18 $\pm$ 0,01 ^{CD}	6,02 $\pm$ 0,05 ^C	6,17 $\pm$ 0,01 ^{DEFG}	6,21 $\pm$ 0,05 ^C	6,27 $\pm$ 0,02 ^{CD}	6,28 $\pm$ 0,03 ^{CD}
8h	5,89 $\pm$ 0,04 ^{DE}	6,07 $\pm$ 0,05 ^{CDE}	6,17 $\pm$ 0,01 ^{CD}	6,01 $\pm$ 0,05 ^C	6,13 $\pm$ 0,01 ^{DEFG}	6,19 $\pm$ 0,04 ^C	6,27 $\pm$ 0,01 ^{CD}	6,25 $\pm$ 0,03 ^{CD}
9h	5,89 $\pm$ 0,02 ^{DE}	6,05 $\pm$ 0,05 ^{CDE}	6,18 $\pm$ 0,08 ^{CD}	6,01 $\pm$ 0,05 ^C	6,10 $\pm$ 0,01 ^{FG}	6,19 $\pm$ 0,04 ^C	6,27 $\pm$ 0,01 ^{CD}	6,25 $\pm$ 0,08 ^{CD}
10h	5,89 $\pm$ 0,02 ^{DE}	6,04 $\pm$ 0,05 ^{DE}	6,17 $\pm$ 0,07 ^{CD}	5,98 $\pm$ 0,05 ^C	6,10 $\pm$ 0,01 ^{FG}	6,19 $\pm$ 0,04 ^C	6,27 $\pm$ 0,01 ^{CD}	6,25 $\pm$ 0,03 ^{CD}
11h	5,88 $\pm$ 0,01 ^{DE}	6,04 $\pm$ 0,06 ^{DE}	6,16 $\pm$ 0,06 ^{CD}	5,98 $\pm$ 0,05 ^C	6,09 $\pm$ 0,01 ^G	6,19 $\pm$ 0,08 ^C	6,24 $\pm$ 0,02 ^{CD}	6,25 $\pm$ 0,03 ^{CD}
12h	5,88 $\pm$ 0,01 ^{DE}	6,04 $\pm$ 0,06 ^{DE}	6,17 $\pm$ 0,05 ^{CD}	5,98 $\pm$ 0,06 ^C	6,09 $\pm$ 0,02 ^G	6,19 $\pm$ 0,05 ^C	6,24 $\pm$ 0,01 ^{CD}	6,25 $\pm$ 0,01 ^{CD}
13h	5,88 $\pm$ 0,02 ^{DE}	6,04 $\pm$ 0,06 ^{DE}	6,17 $\pm$ 0,05 ^{CD}	5,98 $\pm$ 0,08 ^C	6,09 $\pm$ 0,01 ^G	6,19 $\pm$ 0,06 ^C	6,24 $\pm$ 0,01 ^{CD}	6,25 $\pm$ 0,01 ^{CD}
14h	5,89 $\pm$ 0,01 ^{DE}	6,03 $\pm$ 0,04 ^{DE}	6,16 $\pm$ 0,05 ^D	5,97 $\pm$ 0,08 ^C	6,09 $\pm$ 0,01 ^G	6,18 $\pm$ 0,05 ^C	6,24 $\pm$ 0,01 ^{CD}	6,24 $\pm$ 0,06 ^{CD}
15h	5,88 $\pm$ 0,02 ^{DE}	6,03 $\pm$ 0,05 ^{DE}	6,16 $\pm$ 0,04 ^D	5,93 $\pm$ 0,07 ^C	6,08 $\pm$ 0,02 ^G	6,18 $\pm$ 0,07 ^C	6,28 $\pm$ 0,01 ^{CD}	6,24 $\pm$ 0,05 ^{CD}
16h	5,88 $\pm$ 0,02 ^{DE}	6,03 $\pm$ 0,05 ^{DE}	6,12 $\pm$ 0,04 ^D	5,92 $\pm$ 0,07 ^C	6,08 $\pm$ 0,01 ^G	6,18 $\pm$ 0,06 ^C	6,23 $\pm$ 0,01 ^{CD}	6,24 $\pm$ 0,09 ^{CD}

Tabela 3. Evolução do pH ($\pm$ EPM) durante as primeiras 24h *post-mortem* nos músculos *longissimus lumborum* e *biceps femoris* de coelhos Botucatu machos e fêmeas abatidos em diferentes idades.

(conclusão)

Tempo <i>post-mortem</i>	pH							
	<i>Longissimus lumborum</i>				<i>Biceps femoris</i>			
	3 meses de idade		12 meses de idade		3 meses de idade		12 meses de idade	
	Fêmea	Macho	Fêmea	Macho	Fêmea	Macho	Fêmea	Macho
17h	5,89 $\pm$ 0,01 ^{DE}	6,01 $\pm$ 0,05 ^{DE}	6,12 $\pm$ 0,03 ^D	5,92 $\pm$ 0,08 ^C	6,07 $\pm$ 0,01 ^G	6,18 $\pm$ 0,05 ^C	6,21 $\pm$ 0,02 ^{CD}	6,24 $\pm$ 0,02 ^{CD}
18h	5,88 $\pm$ 0,01 ^{DE}	6,01 $\pm$ 0,03 ^{DE}	6,12 $\pm$ 0,04 ^D	5,91 $\pm$ 0,07 ^C	6,06 $\pm$ 0,02 ^G	6,17 $\pm$ 0,05 ^C	6,20 $\pm$ 0,02 ^{CD}	6,23 $\pm$ 0,03 ^{CD}
19h	5,88 $\pm$ 0,01 ^{DE}	5,99 $\pm$ 0,05 ^E	6,11 $\pm$ 0,04 ^D	5,92 $\pm$ 0,06 ^C	6,07 $\pm$ 0,01 ^G	6,14 $\pm$ 0,05 ^C	6,20 $\pm$ 0,01 ^{CD}	6,19 $\pm$ 0,05 ^D
20h	5,87 $\pm$ 0,02 ^{DE}	5,98 $\pm$ 0,05 ^E	6,10 $\pm$ 0,02 ^D	5,92 $\pm$ 0,05 ^C	6,06 $\pm$ 0,01 ^G	6,14 $\pm$ 0,03 ^C	6,20 $\pm$ 0,01 ^{CD}	6,19 $\pm$ 0,04 ^D
21h	5,84 $\pm$ 0,01 ^{DE}	5,98 $\pm$ 0,05 ^E	6,10 $\pm$ 0,01 ^D	5,91 $\pm$ 0,04 ^C	6,06 $\pm$ 0,01 ^G	6,14 $\pm$ 0,03 ^C	6,16 $\pm$ 0,02 ^D	6,19 $\pm$ 0,04 ^D
22h	5,80 $\pm$ 0,01 ^{DE}	5,98 $\pm$ 0,05 ^E	6,10 $\pm$ 0,02 ^D	5,91 $\pm$ 0,04 ^C	6,06 $\pm$ 0,03 ^G	6,13 $\pm$ 0,04 ^C	6,16 $\pm$ 0,01 ^D	6,17 $\pm$ 0,02 ^D
23h	5,80 $\pm$ 0,01 ^{DE}	5,98 $\pm$ 0,04 ^E	6,10 $\pm$ 0,02 ^D	5,90 $\pm$ 0,04 ^C	6,06 $\pm$ 0,03 ^G	6,13 $\pm$ 0,04 ^C	6,16 $\pm$ 0,01 ^D	6,17 $\pm$ 0,02 ^D
24h	5,77 $\pm$ 0,01 ^E	5,97 $\pm$ 0,05 ^E	6,10 $\pm$ 0,02 ^D	5,93 $\pm$ 0,05 ^C	6,06 $\pm$ 0,06 ^G	6,13 $\pm$ 0,04 ^C	6,17 $\pm$ 0,02 ^D	6,17 $\pm$ 0,05 ^D
EPM	0,02	0,03	0,02	0,03	0,01	0,04	0,01	0,02
<i>p</i> - valor	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

^{A-E} Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

EPM: erro padrão da média

Foram observadas diferenças significativas para o pH muscular ao longo das primeiras 24h *post-mortem*, tanto para o LL, quanto para o BF, em todas as categorias avaliadas (Tabela 3). Após o abate, o consumo das reservas glicolíticas continua até se esgotarem as moléculas de ATP dos músculos, o que se traduz na queda do pH devido ao acúmulo de ácido láctico e íons H⁺ resultante da quebra do glicogênio, a principal fonte de energia do músculo (Sanfelice et al., 2010; Shija et al., 2013).

Os valores de pH foram mais elevados ($p < 0,05$) às 0h e 1h *post-mortem* no LL e BF das fêmeas, independentemente da idade, em relação aos demais tempos. Enquanto que, nos machos, o maior valor ($p < 0,05$) foi registrado somente às 0h *post-mortem*, demonstrando queda significativa do pH logo na primeira hora após o abate, para ambos os músculos e idades considerados. Essa maior taxa (entende-se velocidade) de acidificação muscular observada em coelhos machos já na primeira hora *post-mortem* é um indicativo de que o peso dos animais pode influenciar as reservas energéticas nos tecidos musculares, em uma relação claramente negativa, contrariando relações pré-estabelecidas para a espécie que serão discutidas *a posteriori*. Sañudo et al. (1996), ao avaliarem a variação do pH

em carcaças de cordeiros com diferentes pesos, também observaram maior acidificação para o grupo de carcaças com menor peso, indicando variação na quantidade de glicogênio muscular entre as carcaças leves e mais pesadas, assim como verificado por Beriain et al. (2000) e Teixeira et al. (2005).

O pH da carne, que nada mais é do que o potencial hidrogeniônico presente em sua fração líquida, é determinado pelo cologaritmo de sua concentração molar de cátions hidrônio (H^+), sendo expresso da seguinte maneira: $pH = -\log [H^+]$ (Hulot & Ouhayoun, 1999). No animal vivo, o pH muscular assume valores próximos à neutralidade, porém, após o abate, alcança um valor relativamente estável de forma progressiva em torno de 5,3 a 6,0 (Hulot & Ouhayoun, 1999), como pode ser observado no presente trabalho.

Os valores do pH no tempo 0h variaram de 6,52 a 6,80, caindo abruptamente até sua estabilização às ~5h *post-mortem* no LL dos animais jovens e dos reprodutores ($pH_{\text{fêmeas jovens}}$: 5,90; $pH_{\text{machos jovens}}$: 6,10; $pH_{\text{reprodutores}}$: 6,04) e às ~6h *post-mortem* no LL das fêmeas adultas (pH_{matrizes} : 6,18). Já o pH do BF se estabilizou mais cedo, ~4h *post-mortem*, em todas as categorias ($pH_{\text{fêmeas jovens}}$: 6,24; $pH_{\text{machos jovens}}$: 6,29; pH_{matrizes} : 6,28; $pH_{\text{reprodutores}}$: 6,38), com valores notadamente mais elevados que aqueles observados para o LL. A partir de então, apesar de estável, o pH apresentou declínio contínuo, de forma sutil, até que se completassem as 24h *post-mortem*.

Especificamente em relação à dinâmica de acidificação nos animais jovens, o menor valor ($p < 0,05$) registrado para LL das fêmeas se deu somente ao final das 24h *post-mortem* (5,77), valor similar àqueles encontrados entre as 5h e 23h *post-mortem* (5,90 $\rightarrow$ 5,80). Enquanto os valores mais baixos ($p < 0,05$) no LL dos machos foram percebidos entre 19h e 24h *post-mortem* (5,99 $\rightarrow$ 5,97), similarmente àqueles observados entre 4h e 18h *post-mortem* (6,15 $\rightarrow$ 6,01). Já os menores ($p < 0,05$) valores de pH no BF das fêmeas jovens ocorreram entre 11h e 24h *post-mortem* (6,09 $\rightarrow$ 6,06), similarmente aos achados no intervalo de 7h às 10h (6,17 $\rightarrow$ 6,10). O pH mais baixo ($p < 0,05$) para o BF de machos jovens ocorreu das 4h às 24h *post-mortem* (6,29 $\rightarrow$ 6,13), com resultados similares àqueles observados 2h a 3h *post-mortem* (6,41 $\rightarrow$ 6,32).

Em se tratando da cinética de acidificação muscular nos animais mais velhos,

em fase reprodutiva, foram verificados menores ($p < 0,05$) valores de pH no LL das matrizes a partir das 14h *post-mortem* (6,16 $\rightarrow$ 6,10), com resultados similares nos tempos 4h e 5h (6,31 $\rightarrow$ 6,25). Os menores ($p < 0,05$) valores para o LL dos reprodutores foram observados a partir das 5h *post-mortem* (6,04 $\rightarrow$ 5,93), similarmemente aos registros compreendidos entre 2h e 4h *post-mortem* (6,17 $\rightarrow$ 6,07). Já os valores de pH mais baixos ($p < 0,05$) para o BF das matrizes foram verificados a partir das 21h *post-mortem* (6,16 $\rightarrow$ 6,17), com valores similares àqueles registrados entre 4h e 20h *post-mortem* (6,28 $\rightarrow$ 6,20). Enquanto os menores ($p < 0,05$) valores observados para o BF dos reprodutores ocorreram a partir das 19h *post-mortem* (6,19 $\rightarrow$ 6,17), similarmemente aos resultados encontrados entre as 4h e 18h *post-mortem* (6,38 $\rightarrow$ 6,23).

Em um estudo clássico conduzido por Ikeuchi et al. (1980), ao avaliarem a cinética de acidificação muscular em carcaças de coelhos armazenadas sob 0 e 37°C durante as 12 primeiras horas *post-mortem*, os autores verificaram que o pH do LTL a 37°C reduziu rapidamente de 7,1 para 6,5, às 2h *post-mortem*, estabilizando-se logo nas 4 primeiras horas, quando assumiu o valor de 5,6; enquanto que, sob 0°C, o pH do LTL diminuiu de forma mais gradual, alcançando pH igual a 5,9 somente às 12h *post-mortem*, assim como registrado no presente estudo e corroborado por Bendall (1973), demonstrando a importância da temperatura de resfriamento das carcaças sobre o comportamento do pH nas primeiras horas pós-abate. Entretanto, os autores não relataram o peso, sexo, raça e nem a idade dos animais utilizados, além do fato de terem sido eutanasiados com o uso de anestésicos e não abatidos segundo os parâmetros preconizados em frigoríficos comerciais.

As diferentes taxas de acidificação muscular observadas estão relacionadas às distintas características das fibras musculares e ao potencial glicolítico de cada músculo avaliado (Daszkiewicz & Andrzej Gugolek, 2020). De acordo com Peter et al. (1972), as fibras musculares em coelhos são categorizadas em três tipos, segundo sua velocidade de contração e seu metabolismo, são elas: tipo I (contração lenta e oxidativa), tipo II (contração rápida e oxidativa) e tipo IIB (contração rápida e glicolítica).

Contudo, apesar dessa categorização ser continuamente atribuída, ela tem

sido revisada e uma nova proposta com base molecular surge em função do polimorfismo observado nas cadeias pesadas de miosina (MyHC), onde quatro formas já foram identificadas no músculo esquelético de coelhos, são elas: isoformas do tipo I, IIa, IIx e IIb (Lefaucheur, 2010). A velocidade de contração das fibras e a taxa de metabolismo glicolítico aumentam de acordo com a seguinte ordem $I < IIa < IIx < IIb$ (Schiaffino & Reggiani, 1996)

A proporção dessas fibras depende da raça e do músculo avaliado (Lambertini et al., 1996; Bianospino et al., 2008), onde o metabolismo glicolítico elevado, associado a uma taxa oxidativa reduzida, acarreta em queda acentuada do pH e diferenciação entre as cinéticas de acidificação das fibras musculares (Dalle Zotte & Ouhayoun, 1995; Bianospino et al., 2008; Matarneh, 2017), conforme evidenciado no presente estudo.

Sendo assim, a precoce estabilidade do pH alcançada nas primeiras 4h *post-mortem* para o BF em relação ao LL, ainda que com valores mais altos, independentemente da categoria animal, claramente demonstra que o processo de acidificação muscular ocorreu com menor intensidade no BF, justamente por se tratar de um músculo com função locomotora, de contração lenta, com altos níveis de metabolismo oxidativo e baixo potencial glicolítico, logo, menos ácido (Hernández et al., 1998; Hulot & Ouhayoun, 1999); assim como corroborado por Dalle Zotte et al. (2016), que atestaram que os músculos dos membros traseiros de coelhos em crescimento possuem maior atividade oxidativa e maior pH em relação ao músculo *longissimus* (Dalle Zotte et al., 2016).

Já as matrizes, por serem a categoria mais pesada, ou seja, com maior reserva energética, associado ao fato de apresentarem maior proporção de fibras glicolíticas e menor metabolismo oxidativo nos músculos lombares, cuja função é preponderantemente a sustentação, apresentaram estabilização do pH muscular de forma mais tardia no LL em relação ao BF; tal qual registrado por Dalle Zotte et al. (1996), os quais verificaram que a atividade metabólica glicolítica cessou mais tardiamente no LL do que no BF, enquanto as variações em pH seguiram a mesma tendência.

Na Tabela 4 são apresentadas as variações dos valores de pH entre os músculos *longissimus lumborum* e *biceps femoris* dentro de cada tempo avaliado ao

longo das primeiras 24h *post-mortem*.

Tabela 4. Evolução do pH ($\pm$ EPM) nas primeiras 24h *post-mortem* nos músculos *longissimus lumborum* e *biceps femoris* de coelhos Botucatu em diferentes idades de abate.

Time <i>post-mortem</i>	pH					
	3 meses			12 meses		
	<i>Longissimus lumborum</i>	<i>Biceps femoris</i>	EPM	<i>Longissimus lumborum</i>	<i>Biceps femoris</i>	EPM
0h	6,63	6,77	0,07	6,66	6,75	0,04
1h	6,46	6,62	0,08	6,51	6,61	0,05
2h	6,33	6,42	0,04	6,34	6,48	0,07
3h	6,25	6,32	0,04	6,26	6,37	0,06
4h	6,08 ^b	6,27 ^a	0,10	6,19 ^b	6,33 ^a	0,07
5h	6,00 ^b	6,26 ^a	0,13	6,15 ^b	6,32 ^a	0,09
6h	5,99 ^b	6,22 ^a	0,12	6,12 ^b	6,28 ^a	0,08
7h	5,99 ^b	6,19 ^a	0,10	6,10 ^b	6,28 ^a	0,09
8h	5,98 ^b	6,16 ^a	0,09	6,09 ^b	6,26 ^a	0,09
9h	5,97 ^b	6,15 ^a	0,09	6,10 ^b	6,26 ^a	0,08
10h	5,97 ^b	6,15 ^a	0,09	6,08 ^b	6,26 ^a	0,09
11h	5,96 ^b	6,15 ^a	0,09	6,07 ^b	6,25 ^a	0,09
12h	5,96 ^b	6,14 ^a	0,09	6,08 ^b	6,25 ^a	0,09
13h	5,96 ^b	6,14 ^a	0,09	6,08 ^b	6,25 ^a	0,09
14h	5,96 ^b	6,14 ^a	0,09	6,07 ^b	6,24 ^a	0,09
15h	5,96 ^b	6,13 ^a	0,09	6,05 ^b	6,26 ^a	0,11
16h	5,96 ^b	6,13 ^a	0,09	6,02 ^b	6,24 ^a	0,11
17h	5,95 ^b	6,13 ^a	0,09	6,02 ^b	6,23 ^a	0,10
18h	5,95 ^b	6,12 ^a	0,09	6,02 ^b	6,22 ^a	0,10
19h	5,94 ^b	6,11 ^a	0,09	6,02 ^b	6,20 ^a	0,09
20h	5,93 ^b	6,10 ^a	0,09	6,01 ^b	6,20 ^a	0,09
21h	5,91 ^b	6,10 ^a	0,09	6,01 ^b	6,18 ^a	0,09
22h	5,89 ^b	6,10 ^a	0,10	6,01 ^b	6,17 ^a	0,08
23h	5,89 ^b	6,10 ^a	0,10	6,00 ^b	6,17 ^a	0,08
24h	5,87 ^b	6,10 ^a	0,11	6,02 ^b	6,17 ^a	0,08

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

EPM: erro padrão da média

A partir de 4h *post-mortem*, observou-se efeito significativo do tipo de músculo sobre o pH, com maiores valores para o BF em cada tempo analisado até que se completassem as 24h *post-mortem*, independentemente da idade dos animais. Estes resultados demonstram mais uma vez que o processo de acidificação do músculo BF em coelhos Botucatu se dá de forma menos eficiente do que no LL, sobretudo pela composição deste último músculo, que é composto em sua maioria por fibras glicolíticas (Dalle Zotte & Ouhayoun, 1998; Tůmová et al., 2014). Tůmová et al. (2014), avaliando as características das fibras musculares de coelhos checos de três diferentes portes, verificaram que mais de 90% das fibras musculares encontradas no *longissimus thoracis et lumborum* (LTL) dos animais eram brancas do tipo glicolítica e de contração rápida, enquanto que menos de 10% eram compostas por fibras vermelhas do tipo oxidativa e de contração lenta. Assim como Dalle Zotte & Ouhayoun (1998), também avaliando linhagens industriais de pesos diferentes, verificaram que 98% das fibras que compunham o LL eram brancas, do tipo glicolítica e de contração rápida, e apenas 2% vermelhas, do tipo oxidativa e de contração lenta. Contudo, sabe-se que a maioria das características relacionadas aos tipos de fibras musculares pode ser afetada pela genética (linhagem/raça) dos coelhos, o que requer estudos mais aprofundados sobre a temática, considerando sua importância para as características de carcaça e parâmetros associados à qualidade da carne dos coelhos (Bianospino et al., 2008; Tůmová et al., 2014).

De maneira mais específica, o pH muscular nos animais jovens assumiu valores médios de 6,27 e 6,08 (BF vs. LL, respectivamente) às 4h *post-mortem*, enquanto que ao final das 24h esses valores foram 6,10 e 5,87 (BF vs. LL, respectivamente) (Figura 1), representando uma diferença na ordem de 0,23 unidades entre os músculos, valor baixo, se considerada a diferença de até 0,70 unidades reportada na literatura em função da tipologia das fibras (Daszkiewicz & Gugolek, 2020).

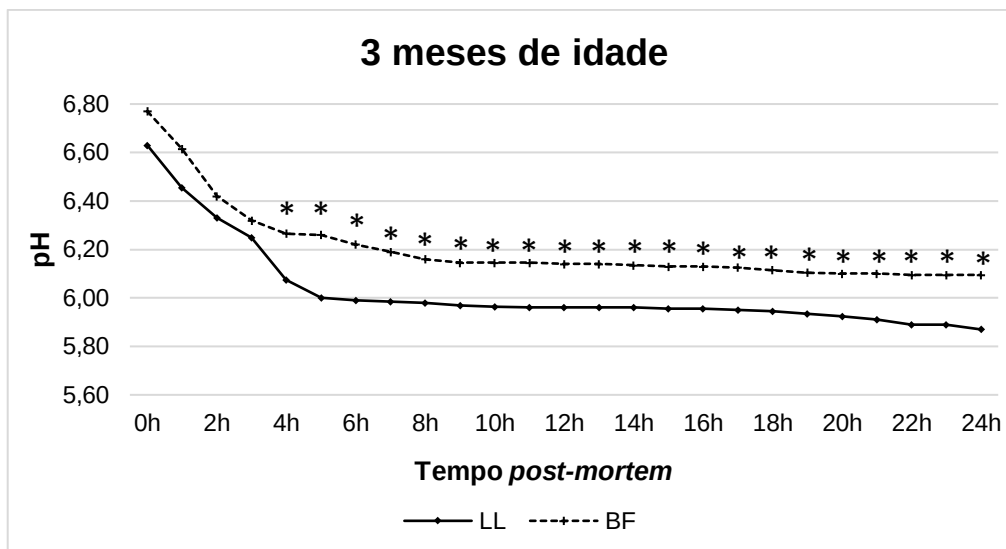


Figura 1. Evolução do pH do *biceps femoris* (BF) e *longissimus lumborum* (LL) em coelhos Botucatu abatidos aos 3 meses de idade durante as primeiras 24h *post-mortem*. Valores no mesmo tempo com * diferem significativamente entre si ($p < 0,05$).

Nos animais em fase reprodutiva, o pH assumiu valores médios de 6,33 e 6,19 (BF vs. LL, respectivamente), às 4h *post-mortem*, caindo de forma sutil até alcançar 6,17 e 6,02 (BF vs. LL, respectivamente) às 24h *post-mortem* (Figura 2), representando uma diferença na ordem de 0,15 unidades entre os músculos.

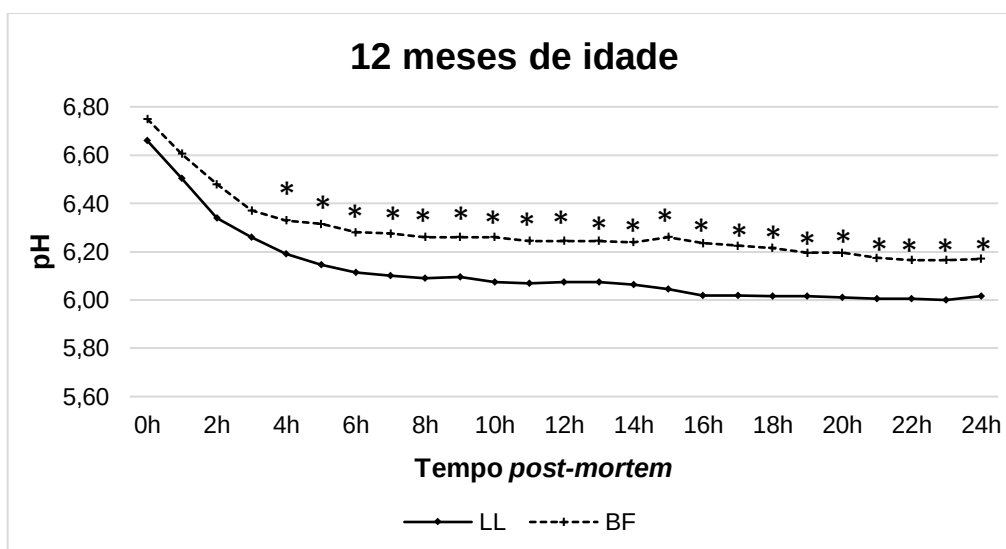


Figura 2. Evolução do pH do *biceps femoris* (BF) e *longissimus lumborum* (LL) em coelhos Botucatu abatidos aos 12 meses de idade durante as primeiras 24h *post-mortem*. Valores no mesmo tempo com * diferem significativamente entre si ($p < 0,05$).

Diversos são os estudos que avaliaram o pH_{24h} da carne de coelho, com resultados bastantes heterogêneos em termos de acidificação muscular, haja visto os diferentes fatores que podem influenciar o pH final das carcaças, como fatores intrínsecos ao animal (músculo, idade, sexo, genética, *i.e.*) e extrínsecos relacionados ao ambiente de criação, às condições de manejo pré-abate, aos processos de abate propriamente dito e de refrigeração das carcaças (Hulot & Ouhayoun, 1999; Składanowska-Baryza & Stanisław, 2019). Ouhayoun et al. (1990), por exemplo, demonstraram que em amostras de 11 músculos, o pH às 3h *post-mortem* variou de 6,08 a 6,78, enquanto os valores finais variaram de 5,71 a 6,00, às 22h *post-mortem*.

No entanto, os dados obtidos com o presente trabalho seguem a mesma tendência observada em diversos outros achados reportados na literatura científica (Yalçın et al., 2006; Daszkiewicz & Gugolek, 2020), sobretudo ao apresentar valores de pH mais altos para o BF em relação ao LL, dado a natureza oxidativa daquele músculo, conforme discutido anteriormente e já consolidado com a revisão bibliográfica publicada por Hulot & Ouhayoun (1999).

É o caso destacado por Peiretti et al. (2011), que ao trabalharem com coelhos Nova Zelândia mestiços, reportaram menor pH final para o músculo LTL (5,55 – 5,57) em relação ao músculo BF (5,68 – 5,71), corroborando os achados do presente estudo. De igual forma, Xiccato et al. (2013) registraram pH final mais baixo para o músculo LTL (5,71 – 5,76) quando comparado ao músculo BF (5,96 – 6,01). Składanowska-Baryza & Stanisław (2020), também obtiveram pH final mais elevado nos músculos traseiros (6,18) em relação ao LTL (5,88).

Além do efeito do tempo *post-mortem* e do músculo, também foi observado efeito do sexo e da idade sobre o pH muscular durante as primeiras 24h pós-abate. Em animais jovens, o pH inicial do LL nos machos (6,74) foi maior ($p < 0,05$) do que o pH inicial do LL nas fêmeas (6,52), assim como verificado após 5, 6 e 7h *post-mortem* (machos: 6,10; 6,09; 6,08 e fêmeas: 5,90; 5,89; 5,89, respectivamente) e nas quatro últimas horas avaliadas (machos: 5,98; 5,98; 5,98; 5,97 e fêmeas: 5,84; 5,80; 5,80; 5,77, respectivamente) (Figura 3).

Aos 90 dias de idade, ainda que no início da puberdade, os coelhos machos de porte médio já expressam comportamentos agonísticos para com outros machos,

na tentativa de estabelecerem a hierarquia social em seu grupo (Girolami et al., 1996; Buijs et al., 2016; Krunt et al., 2022), o que pode ter elevado o grau de estresse entre esses indivíduos, ao serem misturados em novas caixas após a pesagem no frigorífico e ali permanecerem até o momento do abate. Esse estresse crônico pode ter ocasionado a redução dos níveis de carboidratos musculares em favor dos níveis hepáticos, o que justificaria o pH mais alto no LL dessa categoria, além de promover a liberação de catecolaminas, que acelerariam os processos de glicólise, hidrólise do ATP e da taxa de acidificação muscular (Hulot & Ouhayoun, 1999), constatada pela queda abrupta de seu pH logo na primeira hora *post-mortem*.

Além disso, machos tendem a ter maior proporção de fibras aeróbicas com menor conteúdo de glicogênio muscular, o que pode ter influenciado diretamente a acidez do LL nos machos jovens (Dalla Zotte et al, 1996; Lefaucheur, 2010), uma vez que machos e fêmeas aos 3 meses de idade apresentaram o mesmo peso vivo ao abate e mesmo peso de carcaça quente.

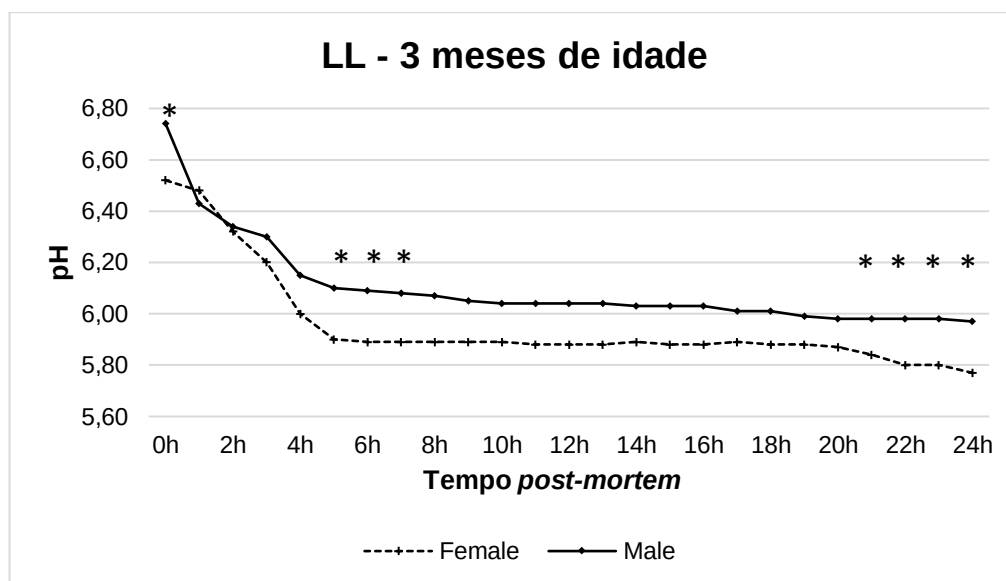


Figura 3. Evolução do pH do *longissimus lumborum* em coelhos fêmeas e machos Botucatu abatidos aos 3 meses de idade durante as primeiras 24h *post-mortem*. Valores no mesmo tempo com * diferem significativamente entre si ($p < 0,05$).

No entanto, o contrário foi observado para coelhos com 12 meses de idade, quando o pH do músculo LL dos reprodutores apresentou valores mais baixos ($p < 0,05$) em relação ao LL das matrizes, logo a partir da 1ª hora (machos: 6,33;

fêmeas: 6,68) até a 24^a hora *post-mortem* (machos: 5,93; fêmeas: 6,10) (Figura 4). Em função do menor peso dos reprodutores ao momento do abate (- 18,85% em relação às matrizes), suas carcaças conseqüentemente mais leves poderiam conter menos reservas energéticas musculares, demandando menos energia metabólica glicolítica, com produção de ácido lático e íons H⁺ em quantidades menores, mas suficientemente capazes de promover a acidificação do LL de forma eficiente e proporcional ao peso da carcaça.

Desse modo, o presente trabalho demonstra que nem sempre prevalecerá uma relação positiva entre o peso de abate e o metabolismo energético glicolítico, como já registrado por Ouhayoun et al. (1984) e outros autores (Hulot & Ouhayoun, 1999; Gonzalez-Redondo et al., 2010). Não sendo correto, portanto, afirmar que quanto mais pesado for o coelho, mais ácida será a sua carne.

Além disso, após a pesagem dos coelhos no frigorífico, os reprodutores não foram misturados com outros machos na área de descanso, somente com fêmeas, a fim de que brigas e demais comportamentos aversivos fossem evitados, o que pode ter minimizado o estresse crônico destes animais e, conseqüentemente, permitido um decréscimo gradual do pH durante as primeiras 24h *post-mortem*.

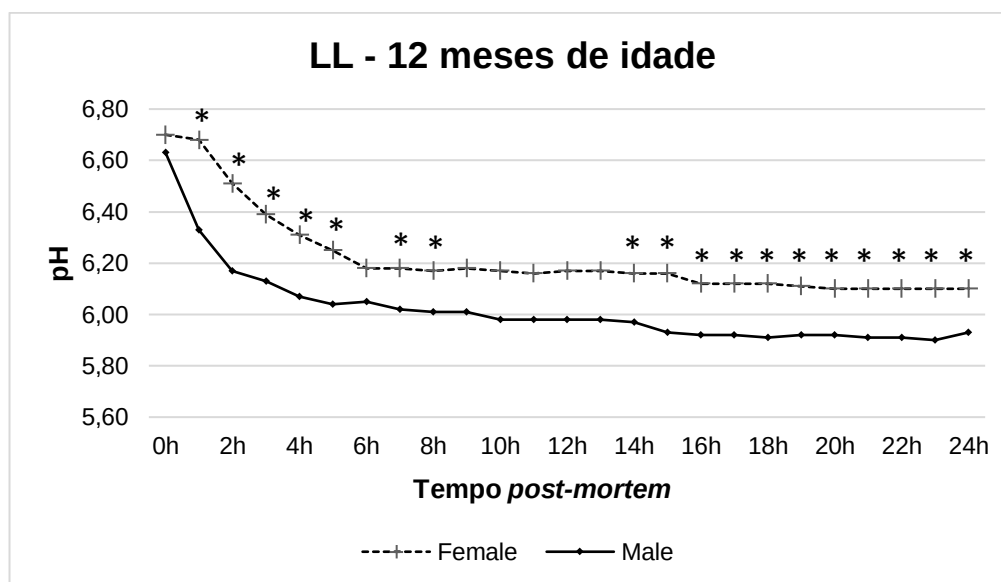


Figura 4. Evolução do pH do *longissimus lumborum* (LL) em coelhos fêmeas e machos Botucatu abatidos aos 12 meses de idade durante as primeiras 24h *post-mortem*. Valores no mesmo tempo com * diferem significativamente entre si ($p < 0,05$).

Já em relação ao músculo BF de coelhos com 3 meses de idade, as diferenças entre os valores de pH foram observadas somente às 12 e 14 horas após o abate (Figura 5), com valores mais elevados ($p < 0,05$) para os machos (6,19; 6,18, respectivamente) quando comparados às fêmeas (6,09; 6,09, respectivamente), indicando padrões semelhantes de acidificação no músculo BF entre coelhos jovens de diferentes sexos.

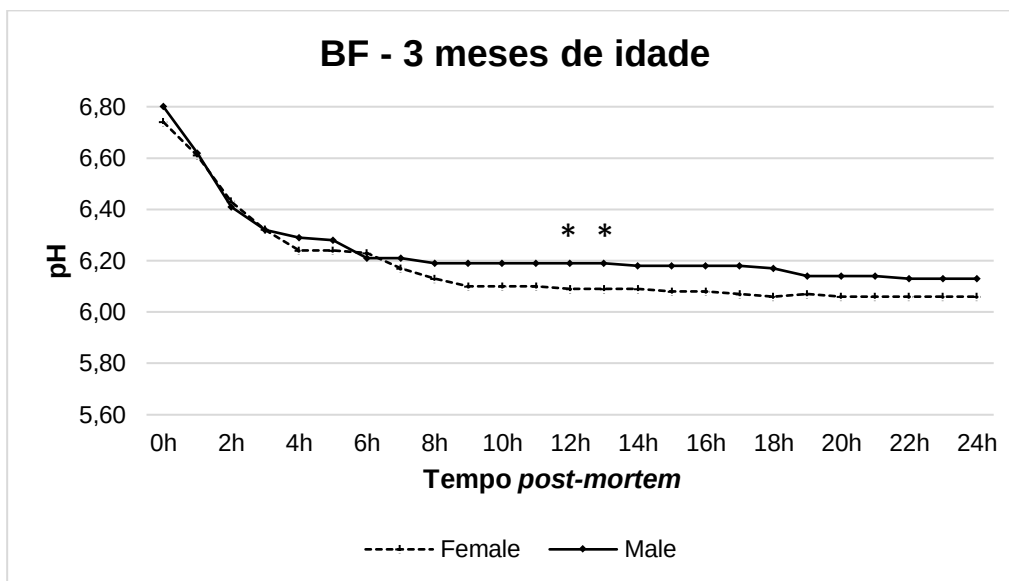


Figura 5. Evolução do pH do *biceps femoris* (BF) em coelhos fêmeas e machos Botucatu abatidos aos 3 meses de idade durante as primeiras 24h *post-mortem*. Valores no mesmo tempo com * diferem significativamente entre si ($p < 0,05$).

No entanto, não houve efeito ($p > 0,05$) do sexo sobre o pH do BF de coelhos com 12 meses de idade (Figura 6), com valores médios que decresceram de 6,75 (às 0h) a 6,17 (às 24h), indicando que matrizes e reprodutores apresentam a mesma cinética de evolução do pH no BF, durante as primeiras 24h *post-mortem* neste músculo, que é composto basicamente por fibras oxidativas, com baixa concentração de glicogênio muscular, sem que haja o favorecimento do declínio do pH para ambas as categorias.

Os dados já publicados sobre o efeito do sexo no pH muscular de coelhos de produção são muito amplos e inconclusivos, com pouco efeito sendo observado em animais jovens, com menos de 90 dias. North et al. (2018) e Yalçın et al. (2006), por

exemplo, ao avaliarem o pH final de coelhos Nova Zelândia Branco de 11-12 semanas de idade, observaram que os machos apresentaram maiores valores para o LTL em relação às fêmeas. No entanto, Carrilho et al. (2009), Dalle Zotte et al. (2016), Składanowska-Baryza & Stanisław (2019) e Frunza et al. (2019) demonstraram que o sexo não teve efeito sobre o pH final da carne de coelhos jovens, divergindo dos resultados encontrados no presente estudo.

Trabalhos com coelhos mais velhos, em idade reprodutiva, ainda não são disponibilizados na literatura científica, demonstrando a real demanda por mais estudos que abordem as propriedades físico-químicas da carne desses animais em seus diferentes estágios de produção.

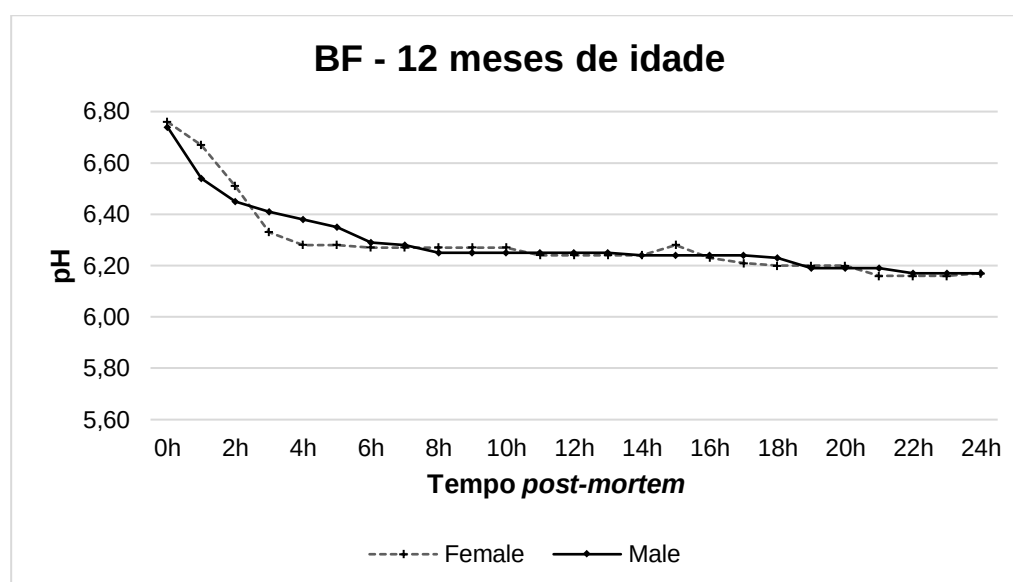


Figura 6. Evolução do pH do *biceps femoris* (BF) em coelhos fêmeas e machos Botucatu abatidos aos 12 meses de idade durante as primeiras 24h *post-mortem*. Valores no mesmo tempo sem * não diferem significativamente entre si ($p > 0,05$).

O pH muscular das fêmeas ainda apresentou diferença significativa em função da idade. Fêmeas jovens obtiveram valores de pH no LL inferiores àqueles para matrizes, das 4h às 24h *post-mortem* (3 meses: 6,00 → 5,77; 12 meses: 6,31 → 6,10) (Figura 7), assim como no BF, das 7h às 24h *post-mortem* (3 meses: 6,17 → 6,06; 12 meses: 6,27 → 6,17) (Figura 8), indicando que as fêmeas jovens de 3 meses de idade apresentam maior acidificação muscular em relação às matrizes de 12 meses de idade a partir de 4h após o abate no LL e a partir das 7h no BF,

possivelmente pelas fêmeas jovens serem 34,30% mais leves que as matrizes, resultando em menor reserva energética nos tecidos musculares, contradizendo a premissa de que o pH muscular em coelhos decresce à medida que a idade do animal avança (Hulot & Ouhayoun, 1999; Gonzalez-Redondo et al., 2010).

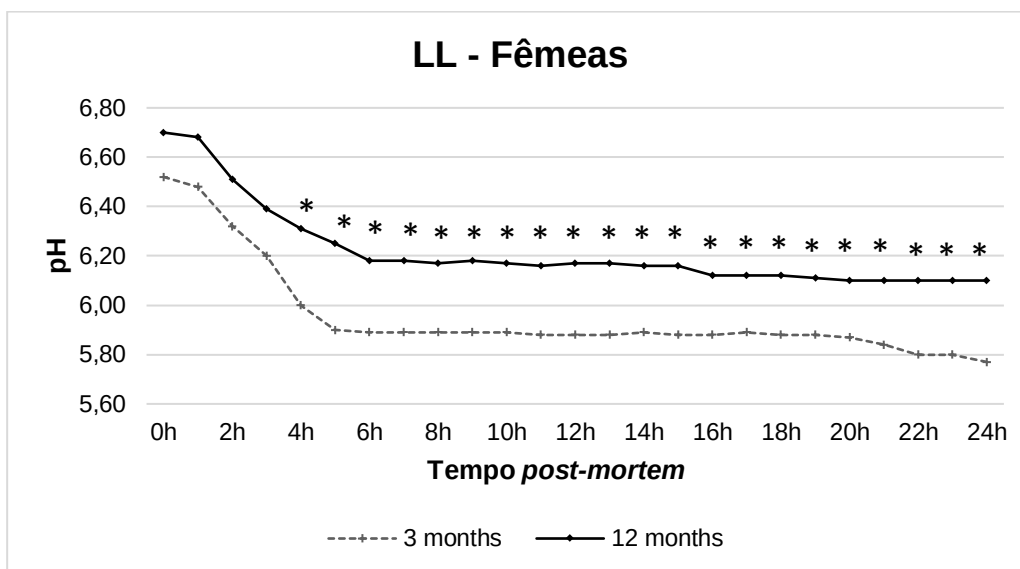


Figura 7. Evolução do pH do *longissimus lumborum* (LL) nas primeiras 24h *post-mortem* em coelhas Botucatu abatidas aos 3 e 12 meses de idade. Valores no mesmo tempo com * diferem significativamente entre si ($p < 0,05$).

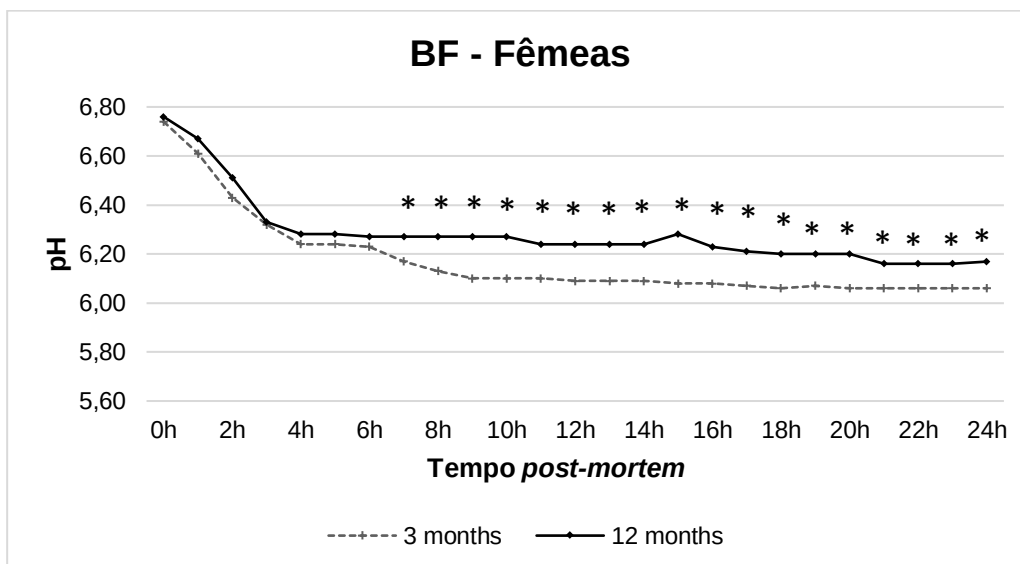


Figura 8. Evolução do pH do *biceps femoris* (BF) nas primeiras 24h *post-mortem* em coelhas Botucatu abatidas aos 3 e 12 meses de idade. Valores no mesmo tempo com * diferem significativamente entre si ($p < 0,05$).

Estes resultados demonstram que o tempo de armazenamento pode não ter sido longo o suficiente para completar a produção de ácido láctico a partir de glicogênio em fêmeas mais velhas e mais pesadas, uma vez que seus valores de pH muscular foram ligeiramente mais altos do que para fêmeas mais jovens e mais leves. Aparentemente, a taxa de produção de ácido láctico e de depleção de ATP foi um pouco mais lenta nesta categoria a partir das 4h *post-mortem* no LL e das 7h no BF, o que requer estudos mais direcionados à bioquímica do músculo, nesta categoria em especial, para uma afirmação mais assertiva.

Para os machos não houve efeito da idade sobre o pH muscular, com reprodutores e machos jovens apresentando os mesmos valores ($p > 0,05$) em cada tempo avaliado durante as primeiras 24h *post-mortem*, tanto para LL (3 meses: 6,74 → 5,97; 12 meses: 6,63 → 5,93) (Figura 9) quanto para BF (3 meses: 6,80 → 6,13; 12 meses: 6,74 → 6,17) (Figura 10), indicando que independentemente da idade, os coelhos machos Botucatu apresentam a mesma taxa de acidificação muscular nos primeiros estágios *post-mortem*.

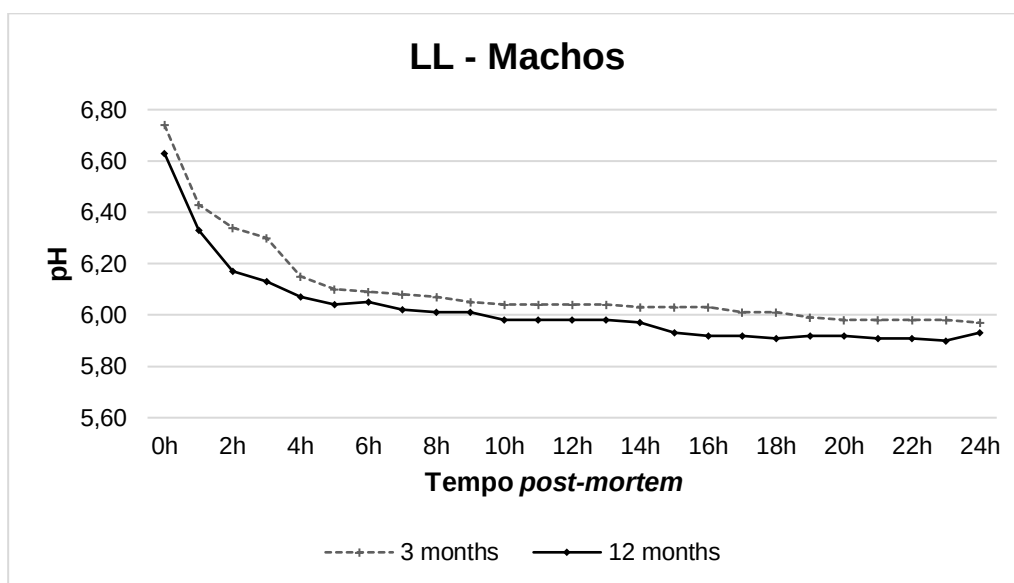


Figura 9. Evolução do pH do *longissimus lumborum* (LL) em coelhos machos Botucatu abatidos aos 3 e 12 meses de idade durante as primeiras 24h *post-mortem*. Valores no mesmo tempo sem * não diferem significativamente entre si ($p > 0,05$).

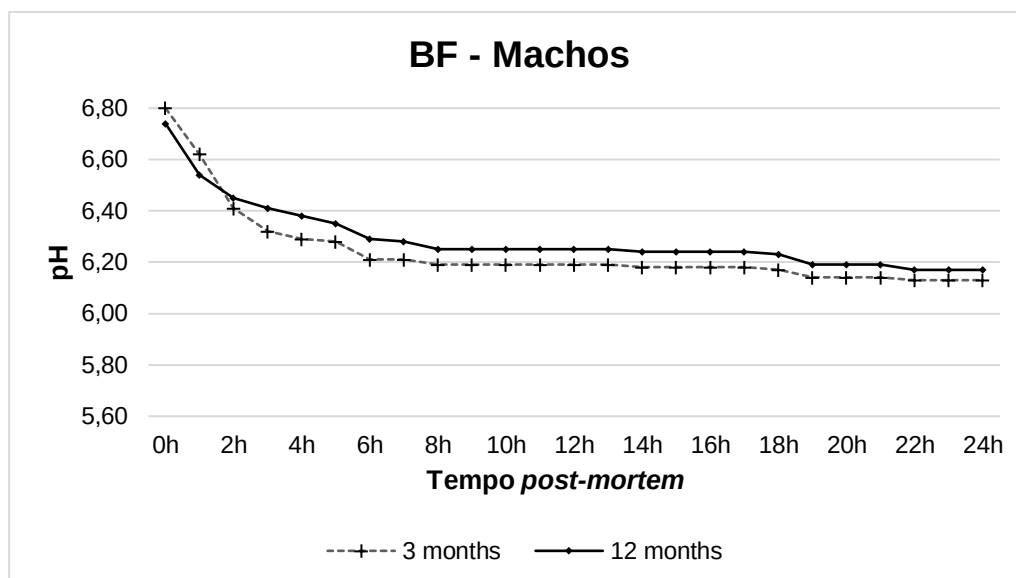


Figura 10. Evolução do pH do *biceps femoris* (BF) em coelhos machos Botucatu abatidos aos 3 e 12 meses de idade durante as primeiras 24h *post-mortem*. Valores no mesmo tempo sem * não diferem significativamente entre si ($p > 0,05$).

Resultados similares também foram reportados por Bini et al. (1992) e Bernardini Battaglini et al. (1994), os quais não observaram nenhuma queda nos valores de pH durante o crescimento dos coelhos (de 9 a 13 semanas de vida) em cinco diferentes músculos amostrados.

Estabelecimento e resolução do *rigor mortis*

A frequência relativa (%) de coelhos Botucatu que apresentaram flexão da articulação femorotibiopatelar durante as primeiras 24h *post-mortem* foi apresentada na Tabela 5, onde o efeito do tempo *post-mortem* foi considerado para cada uma das categorias avaliadas.

Tabela 5. Frequência (%) de coelhos Botucatu que apresentaram flexão da articulação femorotibiopatelar em função do tempo *post-mortem* para cada categoria avaliada.

Tempo <i>post-mortem</i>	Macho		Fêmea	
	3 meses	12 meses	3 meses	12 meses
0h	100 ^A	100 ^A	100 ^A	100 ^A
1h	100 ^A	100 ^A	100 ^A	100 ^A
2h	100 ^A	100 ^A	100 ^A	100 ^A
3h	90 ^A	90 ^A	90 ^A	95 ^A
4h	55 ^A	50 ^A	65 ^A	90 ^A
5h	35 ^B	40 ^B	35 ^B	56 ^A
6h	0 ^B	0 ^B	0 ^B	25 ^B
7h	0 ^B	0 ^B	0 ^B	0 ^B
8h	0 ^B	0 ^B	0 ^B	0 ^B
9h	0 ^B	0 ^B	0 ^B	0 ^B
10h	0 ^B	0 ^B	0 ^B	0 ^B
11h	0 ^B	0 ^B	0 ^B	0 ^B
12h	0 ^B	0 ^B	0 ^B	0 ^B
13h	0 ^B	0 ^B	3 ^B	8 ^B
14h	0 ^B	11 ^B	6 ^B	8 ^B
15h	12 ^B	13 ^B	11 ^B	12 ^B
16h	20 ^B	20 ^B	15 ^B	25 ^B
17h	30 ^B	30 ^B	35 ^B	40 ^B
18h	70 ^A	65 ^A	75 ^A	75 ^A
19h	78 ^A	79 ^A	89 ^A	80 ^A
20h	88 ^A	93 ^A	96 ^A	94 ^A
21h	94 ^A	99 ^A	100 ^A	100 ^A
22h	100 ^A	100 ^A	100 ^A	100 ^A
23h	100 ^A	100 ^A	100 ^A	100 ^A
24h	100 ^A	100 ^A	100 ^A	100 ^A
<i>P - value</i>	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

^{A - B} Frequências seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste Exato de Fischer ($p < 0,05$).

Observou-se que a maior ($p < 0,05$) frequência de flexão da articulação femorotibiopatelar em carcaças de fêmeas com 12 meses de idade ocorreu entre 0h e 6h e entre 17h e 24h *post-mortem*, enquanto as carcaças das demais categorias apresentaram maior frequência de ocorrências ($p < 0,05$) antes das 5h *post-mortem* e após as 17h *post-mortem*.

Esses achados indicam que o *rigor mortis* foi estabelecido às 5h *post-mortem* para todas as categorias em avaliação, com exceção às matrizes, que

tiveram o rigor estabelecido às 6h *post-mortem*, determinado pela incapacidade de flexão da articulação femorotibiopatelar esquerda. O estabelecimento do rigor coincidiu com o tempo registrado para a estabilização do pH muscular de acordo com as respectivas categorias, seguindo o padrão de *rigor mortis* em coelhos já demonstrado por Bendall (1973), conforme explicitado a seguir:

Quando 1/3 a 1/5 do ATP das fibras musculares é exaurido, tem-se início o processo de *rigor mortis* propriamente dito, associado à redução em comprimento do sarcômero e ao aumento da resistência ao alongamento, conferindo perdas em elasticidade dos músculos, resultantes da formação do complexo actomiosínico. O autor ainda evidenciou que, em carcaças armazenadas em 38°C, o encurtamento do músculo Psoas teve seu início aproximadamente uma hora antes da resistência ao alongamento se iniciar às 4h *post-mortem*, com redução de até 25% do seu comprimento inicial. No presente estudo, esse tempo pode ter sido prolongado em 1 – 2 horas em função da baixa temperatura de refrigeração das carcaças (4°C), que retardou positivamente os processos bioquímicos relacionados ao avanço do processo de *rigor mortis*.

A partir deste ponto de relativa estabilidade, o rigor seguiu por aproximadamente 10 – 11h, sem diferenciação quanto à categoria animal, o que indicaria a instauração da fase pós-rigor, quando, por fim, observou-se que a articulação femorotibiopatelar esquerda pôde ser novamente flexionada em todas as carcaças, configurando o início do processo de resolução a partir das 18h pós-abate para todas as categorias em questão, marcando o período em que a extensibilidade volta a ser constante, porém com valores mínimos. Nesta etapa, o músculo pós-rigor, que antes permanecia inextensível, começa a sofrer alterações estruturais promovidas pela degradação proteolítica, especialmente atribuída à ação enzimática das calpaínas e calpastatinas, conferindo novamente certo grau de extensibilidade (Aberle et al., 2001).

Sob circunstâncias normais, o pH muscular apresenta um declínio contínuo até que ocorra o estabelecimento do *rigor mortis* durante os estágios iniciais do período *post-mortem*, quando então assume valores relativamente constantes, conforme já verificado para outras espécies domésticas (Wheeler & Koohmaraie, 1994; Alvarado & Sams, 2000; Hwang & Thompson, 2001; Rees et al., 2003; Zhang

et al., 2018; Sánchez-Macías et al., 2019). Sánchez-Macías et al. (2019) obtiveram resultados similares, ao registrarem os primeiros achados relacionados ao processo de *rigor mortis* em função do sexo e da idade de porquinhos-da-índia. Os autores verificaram que este processo se estabeleceu entre às 4h50 e 5h20 *post-mortem* para todas as categorias avaliadas, e assim permaneceu por aproximadamente mais 10h, quando, por fim, verificou-se o início do processo de resolução entre as 12 – 15h *post-mortem*.

De acordo com os resultados obtidos, todos os processos que possam interromper os estágios iniciais da cadeia do frio e alterar o completo padrão de desenvolvimento do *rigor mortis*, como, por exemplo, o processamento, o congelamento, o empacotamento e o cozimento precoce dessa carne, não devem ser realizados até que se completem as 18h de resfriamento das carcaças dos coelhos Botucatu a uma temperatura constante de 4°C, sob pena de comprometer a conversão do músculo em carne, a qualidade microbiológica e físico-química do produto final, sobretudo daqueles atributos considerados mais importantes pelo consumidor na hora da compra, como maciez, cor e sabor (Dalle Zotte, 2002; Ertbjerg & Puolanne, 2017); tal qual verificado por Geesink et al. (2011) em seu estudo com cordeiros, ao observarem severas contrações no músculo *longissimus* durante o cozimento da carne em estado pré-rigor, resultando em maior encurtamento de sarcômero e, conseqüentemente, maior dureza, quando comparada às amostras cozidas em estado pós-rigor.

A adoção dessas medidas preveniria, entre outros fatores, as perdas associadas ao rigor de descongelamento (*thaw rigor*), que ocorre quando a carcaça ou os cortes são congelados antes do completo estabelecimento do *rigor mortis*, levando a irreversíveis alterações em sua maciez após o descongelamento (Pascual, 2010; Wang et al., 2020; Ebeid et al., 2022). Quando o músculo em estágio pré-rigor é descongelado, ele se contrai em função da súbita liberação de íons Ca^{+2} no sarcoplasma, resultando em severo encurtamento dos sarcômeros, liberação de grande quantidade de exsudato e severo endurecimento da carne (Aberle et al., 2001).

As carcaças dos coelhos são bastante sensíveis a esse fenômeno e apresentam respostas diferenciadas em função do músculo considerado. O

músculo Psoas major, por exemplo, resiste ao encurtamento pelo frio, mas tem o sarcômero reduzido em 73% do seu tamanho original pela ação do rigor de descongelamento, enquanto o músculo Semitendinosus apresenta encurtamento de sarcômero na ordem de 39% (Kim et al., 2021).

Ademais, o presente estudo registrou os primeiros achados em relação ao processo de *rigor mortis* em coelhos de diferentes categorias da genética Botucatu e acompanhou a curva do pH nas primeiras 24h *post-mortem* em carcaças de coelhos de corte abatidos e refrigerados em condições industriais, o que certamente representará um referencial e motivação para estudos futuros, sobretudo no intuito de melhor compreender e elucidar as características físico-químicas dos cortes desta linhagem tão promissora e em franco processo de adaptação nas granjas cunículas brasileiras.

Conclusões

Coelhos Botucatu em fase reprodutiva são mais pesados que aqueles mais jovens comumente abatidos aos 90 dias de idade, o que acaba por refletir em maior rendimento e peso de carcaça. Assim como a idade, o sexo e o tipo de músculo influenciam diretamente o processo de acidificação muscular *post-mortem*.

A combinação desses fatores determina o estabelecimento do *rigor mortis* às 5h *post-mortem* em coelhos jovens e reprodutores, e às 6h *post-mortem* em matrizes, concomitantemente com a estabilização do pH muscular, resultando em sua resolução às 18h *post-mortem*.

Assim, para que os cortes nobres da carne cunícula, a saber, lombo e coxa/sobrecoxa, não tenham prejuízos em termos de qualidade, recomenda-se que as carcaças sejam resfriadas por no mínimo 18 horas ininterruptas a 4°C, sem que a cadeia do frio seja interrompida nesse período, para que o processo de *rigor mortis* e a transformação do músculo em carne ocorram eficientemente em toda a carcaça, já que não há distinção ao momento do abate quanto ao peso, sexo e idade dos animais.

Recomenda-se, ainda, o investimento em ações positivas, treinamento e capacitação técnica de todos os profissionais relacionados à indústria cunícula,

para que estes compreendam a importância de todo o processo de refrigeração das carcaças para a conversão do músculo em carne e manutenção de sua qualidade.

Referências

- Aberle, E., Forrest, J. C., & Hedrick, H. (2001). *Principles of meat science* (4th ed.). Kendall/Hunt Publishing.
- Allen, D. L., & Unterman, T. G. (2007). Regulation of myostatin expression and myoblast differentiation by FoxO and SMAD transcription factors. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 292(1), C188–C199. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00542.20057>
- Alvarado, C. Z., & Sams, A. R. (2000). *Rigor mortis* development in turkey breast muscle and the effect of electrical stunning. *Poultry Science*, 79(11), 1694–1698. <https://doi.org/10.1093/ps/79.11.1694>
- Bate-Smith, E. C., & Bendall, J. R. (1949). Factors determining the time course of *rigor mortis*. *The Journal of Physiology*, 110(1–2), 47–65. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1949.sp004420>
- Bendall, J. R. (1973). The biochemistry of *rigor mortis* and cold-contraction. In *Proceedings of the 19th European meeting of meat 974 research workers*.
- Beriain, M. J., Horcada, A., Purroy, A., Lizaso, G., Chasco, J., & Mendizabal, J. A. (2000). Characteristics of Lacha and Rasa Aragonesa lambs slaughtered at three live weights. *Journal of Animal Science*, 78(12), 3070–3077. <https://doi.org/10.2527/2000.78123070x>
- Bernardini Battaglini, M., Castellini, C., & Lattaioli, P. (1994). Rabbit carcass and meat quality. Effect of strain-rabbitry and age. *Italian Journal of Food Science*.
- Bianospino, E., Wechsler, F. S., Fernandes, S., Roça, R. D. O., & Moura, A. S. A. M. T. (2006). Growth, carcass and meat quality traits of straightbred and crossbred Botucatu rabbits. *World Rabbit Science*, 237–246.
- Bianospino, E., Moura, A. S. A. M. T., Wechsler, F. S., Fernandes, S., & Dal-Pai-Silva, M. (2008). Age-related changes in muscle fiber type frequencies and cross-sectional areas in straightbred and crossbred rabbits. *Animal: An International Journal of Animal Bioscience*, 2(11), 1627–1632. <https://doi.org/10.1017/S1751731108002759>
- Bini R, P., Xiccato, G., & Cinetto, M. (1992). Effetto dell'età e peso di macellazione e del sesso sulla qualità della carcassa e della carne cunicola. 1. Rilievi di macellazione e qualità della carcassa. *Zoot. Nutr. Anim*, 18, 157–172.

- Blasco Mateu, A., Ouhayoun, J., & Masoero, G. (1993). Harmonization of criteria and terminology in rabbit meat research. *World Rabbit Science*, 1(1).
- Brasil. Decreto n. 9.013, de 29 de março de 2017. (2017). *Regulamenta a Lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei nº 7.889, de 23 de novembro de 1989, que dispõem sobre a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal*. Diário Oficial da União. Presidência da República. Secretaria-Geral. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, 3.
- Brasil. Decreto n. 10.469, de 18 de agosto de 2020. (2020). *Altera o Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017, que regulamenta a Lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei nº 7.889, de 23 de novembro de 1989, que dispõem sobre o regulamento da inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal*. Diário Oficial da União. Atos do Poder Executivo. Brasília, ed. 159, 5.
- Buijs, S., Vangeyte, J., & Tuytens, F. A. M. (2016). Effects of communal rearing and group size on breeding rabbits' post-grouping behaviour and its relation to ano-genital distance. *Applied Animal Behaviour Science*, 182, 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2016.06.005>
- Carrilho, M. C., Campo, M. M., Olleta, J. L., Beltrán, J. A., & López, M. (2009). Effect of diet, slaughter weight and sex on instrumental and sensory meat characteristics in rabbits. *Meat Science*, 82(1), 37–43. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.11.018>
- Cavani, C., & Petracci, M. (2004). Rabbit meat processing and traceability. In *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress* (pp. 1318–1336).
- Council Regulation (EC). No 1099/2009. *Council Regulation on the protection of animals at the time of killing*.
- Crespi, M. P. A. L., Coll, J. F. C., Costa Gomes, A. V., Silva Morgado, E., Pampolha, C. M., & Camalho, O. (2008). Características de carcaça e composição química do músculo da coxa (Bíceps femoris) de coelhos da raça Nova Zelândia Branca. *Boletim de Indústria Animal*, 65(3), 231-237.
- Dalle Zotte, A. (2002). Perception of rabbit meat quality and major factors influencing the rabbit carcass and meat quality. *Livestock Production Science*, 75(1), 11–32. [https://doi.org/10.1016/s0301-6226\(01\)00308-6](https://doi.org/10.1016/s0301-6226(01)00308-6)
- Dalle Zotte, A., Cullere, M., Alberghini, L., Catellani, P., & Paci, G. (2016). Proximate composition, fatty acid profile, and heme iron and cholesterol content of rabbit meat as affected by sire breed, season, parity order, and gender in an organic production system. *Czech Journal of Animal Science*, 61(9), 383–390. <https://doi.org/10.17221/24/2016-cjas>

- Dalle Zotte, A., & Ouhayoun, J. (1995). Post-weaning evolution of muscle energy metabolism and related physico-chemical traits in the rabbit. *Meat Science*, 39(3), 395–401. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(94\)e0003-o](https://doi.org/10.1016/0309-1740(94)e0003-o)
- Dalle Zotte, A., & Ouhayoun, J. (1998). Effect of genetic origin, diet and weaning weight on carcass composition, muscle physicochemical and histochemical traits in the rabbit. *Meat Science*, 50(4), 471–478. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(98\)00060-6](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(98)00060-6)
- Dalle Zotte, A., Ouhayoun, J., Bini, R. P., & Xiccato, G. (1996). Effect of age, diet and sex on muscle energy metabolism and on related physicochemical traits in the rabbit. *Meat Science*, 43(1), 15–24. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(95\)00066-6](https://doi.org/10.1016/0309-1740(95)00066-6)
- Daszkiewicz, T., & Gugolek, A. (2020). A comparison of the quality of meat from female and male Californian and Flemish Giant Gray rabbits. *Animals: An Open Access Journal from MDPI*, 10(12), 2216. <https://doi.org/10.3390/ani10122216>
- De Blas, C., & Wiseman, J. (2010). *Nutrition of the rabbit*.
- Deltoro, J., & López, A. M. (1986). Development of commercial characteristics of rabbit carcasses during growth. *Livestock Production Science*, 15(3), 271–283.
- Ebeid, T. A., Tůmová, E., Al-Homidan, I. H., Ketta, M., & Chodová, D. (2022). The potential role of feed restriction on productivity, carcass composition, meat quality, and muscle fibre properties of growing rabbits: A review. *Meat Science*, 191(108845), 108845. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108845>
- Ertbjerg, P., & Puolanne, E. (2017). Muscle structure, sarcomere length and influences on meat quality: A review. *Meat Science*, 132, 139–152.
- FAO. (2020). *Faostat: FAO Statistical Databases*. Food & Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>
- Frunza, G., Simeanu, D., Pop, I. M., Boisteanu, P. C., & Stefan, M. (2019). Contributions on the sensorial, physico-chemical and nutritional characterization of meat in Flemish Giant rabbit breed. *Revista de Chimie*, 70(2), 512–517. <https://doi.org/10.37358/rc.19.2.6946>
- Geesink, G., Sujang, S., & Koohmaraie, M. (2011). Tenderness of pre- and post rigor lamb longissimus muscle. *Meat Science*, 88(4), 723–726. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.03.003>
- Girolami, L., Fontani, G., Lodi, L., & Lupo, C. (1996). Hippocampal cholineacetyltransferase activity, agonistic behaviour and social stress in male rabbits. *Behavioural Processes*, 36(1), 77–84. [https://doi.org/10.1016/0376-6357\(95\)00017-8](https://doi.org/10.1016/0376-6357(95)00017-8)

- Gonzalez-Redondo, P., Horcada, A., Valera, M., & Alcalde, M. J. (2010). Water Holding Capacity and PH of Meat from the Wild Rabbit (*Oryctolagus cuniculus algirus*) Hunted Specimens. *Journal of Animal and Veterinary Advances: JAVA*, 9(11), 1560–1564. <https://doi.org/10.3923/javaa.2010.1560.1564>
- Hannula, T., & Puolanne, E. (2004). The effect of cooling rate on beef tenderness: The significance of pH at 7 °C. *Meat Science*, 67(3), 403–408. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2003.11.012>
- Hernández, P., Aliaga, S., Pla, M., & Blasco, A. (2004). The effect of selection for growth rate and slaughter age on carcass composition and meat quality traits in rabbits. *Journal of Animal Science*, 82(11), 3138–3143.
- Hernández, P., Pla, M., & Blasco, A. (1998). Carcass characteristics and meat quality of rabbit lines selected for different objectives: II. Relationships between meat characteristics. *Livestock Production Science*, 54(2), 125–131.
- Hulot, F., & Ouhayoun, J. (1999). Muscular pH and related traits in rabbits: a review. *World Rabbit Science*, 7(1). <https://doi.org/10.4995/wrs.1999.378>
- Hwang, I. H., & Thompson, J. M. (2001). The interaction between pH and temperature decline early postmortem on the calpain system and objective tenderness in electrically stimulated beef longissimus dorsi muscle. *Meat Science*, 58(2), 167–174. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(00\)00147-9](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(00)00147-9)
- Ikeuchi, Y., Ito, T., & Fukazawa, T. (1980). Change in the properties of myofibrillar proteins during *post-mortem* storage of muscle at high temperature. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 28(6), 1197–1202. <https://doi.org/10.1021/jf60232a063>
- Kim, S., Kim, J.-C., Park, S., Kim, J., Yoon, Y., & Lee, H. (2021). Identification of microbial flora in dry aged beef to evaluate the rancidity during dry aging. *Processes (Basel, Switzerland)*, 9(11), 2049. <https://doi.org/10.3390/pr9112049>
- Krunt, O., Zita, L., Kraus, A., Bureš, D., Needham, T., & Volek, Z. (2022). The effect of housing system on rabbit growth performance, carcass traits, and meat quality characteristics of different muscles. *Meat Science*, 193(108953), 108953. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108953>
- Lambertini, L., Lalatta Costerbosa, G., Petrosino, G., Zaghini, G., Vignola, G., Benassi, M. C., & Gatta, P. P. (1996). Caractéristiques histochimiques du muscle et pH de la viande de lapins hybrides sacrifiés à différents âges. *World Rabbit Science*, 4.
- Lefaucheur, L. (2010). A second look into fibre typing-Relation to meat quality. *Meat Sci*, 84, 257–270.

- Luzi, F., Lazzaroni, C., Barbieri, S., Pianetta, M., Cavani, C., & Crimella, C. (2000). Influence of type of rearing, slaughter age and sex on fattening rabbit: I. Productive performance. *World Rabbit Science Congress*, 7, 613–619.
- Machado, L., Faria, C., Geraldo, A., Santos, A., Silveira, J., & Silva, V. (2020). Aspectos reprodutivos, produtivos, sanitários e comportamentais de coelhos Nova Zelândia Branco, Botucatu e mestiços. *Revista Brasileira de Cunicultura*, 18(1), 21–41. <https://doi.org/10.46342/cunicultura.v1.2020-7>
- Matarneh, S. K., England, E. M., Scheffler, T. L., & Gerrard, D. E. (2017). The Conversion of Muscle to Meat. In *Lawrie's Meat Science* (pp. 159–185). Elsevier.
- Moura, A., Polastre, S. A. M. T., & Wechsler, R. (2000). Dam and Litter Inbreeding and Environmental Effects on Litter Performance in Botucatu Rabbits. *World Rabbit Science*, 151–157.
- Moura, A., & Costa, S. A. M. T. (2001). Variance Componentes and Response to Selection for Reproductive, Litter and Growth Traits through a Multi-Purpose Index. *World Rabbit Science*, 77–86.
- North, M. K., Dalle Zotte, A., & Hoffman, L. C. (2018). The effects of quercetin supplementation on New Zealand White grower rabbit carcass and meat quality-A short communication. *Meat Sci*, 145, 363–366.
- Oliveira, M. C., & Lui, J. F. (2006). Desempenho, características de carcaça e viabilidade econômica de coelhos sexados abatidos em diferentes idades. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 58(6), 1149–1155. <https://doi.org/10.1590/s0102-09352006000600025>
- Ouhayoun, J. (1984). Croissance et qualités bouchères du lapin. *Cuniculture, Paris*, 11(8), 181–188.
- Ouhayoun J., & Dalle Zotte A. (2010). Harmonization of muscle and meat criteria in rabbit meat research. *World Rabbit Science*, 4(4). <https://doi.org/10.4995/wrs.1996.297>
- Ouhayoun, J., Daudin, J. D., & Raynal, H. (1990). *Technologie de l'abattage du lapin. Influence de la température de l'air de réfrigération sur les pertes d'eau et sur l'acidification musculaire. Viandes Prod. Carnés*. 11, 69–73.
- Ouhayoun, J., Delmas, D., & Poujardieu, B. (1983). *Variability in the myoglobin content of rabbit muscle. Relationships with energy metabolism. 2nd International Colloquy "The rabbit as a model animal and breeding object*.
- Pascual J.J. (2010). Early weaning of young rabbits: A review. *World Rabbit Science*, 9(4). <https://doi.org/10.4995/wrs.2001.461>

- Paul, P. C. (1964). The rabbit as a source of experimental material for meat studies. *Journal of Food Science*, 29(6), 865–871. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1964.tb00463.x>
- Peiretti, P. G., Gai, F., Rotolo, L., Brugiapaglia, A., & Gasco, L. (2013). Effects of tomato pomace supplementation on carcass characteristics and meat quality of fattening rabbits. *Meat Science*, 95(2), 345–351.
- Peter, J. B., Barnard, R. J., Edgerton, V. R., Gillespie, C. A., & Stempel, K. E. (1972). Metabolic profiles of three fiber types of skeletal muscle in guinea pigs and rabbits. *Biochemistry*, 11(14), 2627–2633. <https://doi.org/10.1021/bi00764a013>
- Pla, M., & Dalle Zotte, A. (2000). Harmonisation of criteria and methods used in rabbit meat research. *World Rabbit Science*, 8, 539–545.
- Rees, M. P., Trout, G. R., & Warner, R. D. (2003). The influence of the rate of pH decline on the rate of ageing for pork. I: interaction with method of suspension. *Meat Science*, 65(2), 791–804. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(02\)00284-x](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(02)00284-x)
- Sánchez-Macías, D., Cevallos-Velastegui, L., Nuñez-Valle, D., & Morales-de la Nuez, A. (2019). First report of postmortem pH evolution and *rigor mortis* in guinea pigs. *Livestock Science*, 229, 22–27. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.09.014>
- Sanfelice, C., Mendes, A. A., Komiyama, C. M., Cañizares, M. C., Rodrigues, L., & Cañizares, G. I. L. (2010). Avaliação do efeito do tempo de desossa sobre a qualidade da carne de peito de matrizes pesadas de descarte. *Acta Scientiarum: Animal Sciences*, 77–84.
- Sañudo, C., Santolaria, P., María, G. A., Osorio, M., & Sierra, I. (1996). Influence of carcass weight on instrumental and sensory lamb meat quality in intensive production systems. *Meat Science*, 42, 195–202.
- Schiaffino, S., & Reggiani, C. (1996). Molecular diversity of myofibrillar proteins: gene regulation and functional significance. *Physiological Reviews*, 76(2), 371–423. <https://doi.org/10.1152/physrev.1996.76.2.371>
- Shija, D. S., Mtenga, L. A., Kimambo, A. E., Laswai, G. H., Mushi, D. E., Mgheni, D. M., Mwilawa, A. J., Shirima, E. J. M., & Safari, J. G. (2013). Chemical composition and meat quality attributes of indigenous sheep and goats from traditional production system in Tanzania. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 26(2), 295–302. <https://doi.org/10.5713/ajas.2012.1243>
- Składanowska-Baryza, J., & Stanisław, M. (2019). Pre-slaughter handling implications on rabbit carcass and meat quality-A review. *Ann. Anim. Sci.*, 19, 875–885.

- Szendrő, Z. S., Kenessey, A., Jensen, J. F., Jensen, N. E., Csapó, J., Romvári, R., & Milisits, G. (1998). Effect of genotype, age, body weight and sex on the body composition of growing rabbits. *World Rabbit Science*, 6(3-4).
- Teixeira, A., Batista, S., Delfa, R., & Cadavez, V. (2005). Lamb meat quality of two breeds with protected origin designation. Influence of breed, sex and live weight. *Meat Science*, 71(3), 530–536. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.04.036>
- Tůmová, E., Bízková, Z., Skřivanová, V., Chodová, D., Martinec, M., & Volek, Z. (2014). Comparisons of carcass and meat quality among rabbit breeds of different sizes, and hybrid rabbits. *Livestock Science*, 165, 8–14. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.04.019>
- Varetto, L., & Curto, O. (2005). Long persistence of *rigor mortis* at constant low temperature. *Forensic Science International*, 147(1), 31–34. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2004.03.033>
- Wang, Z., He, Z., Zhang, D., Li, H., & Wang, Z. (2020). Using oxidation kinetic models to predict the quality indices of rabbit meat under different storage temperatures. *Meat Science*, 162(108042), 108042. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.108042>
- Wheeler, T. L., & Koohmaraie, M. (1994). Prerigor and postrigor changes in tenderness of ovine longissimus muscle2. *Journal of Animal Science*, 72(5), 1232–1238. <https://doi.org/10.2527/1994.7251232x>
- Xiccato, G., Trocino, A., Filiou, E., Majolini, D., Tazzoli, M., & Zuffellato, A. (2013). Bicellular cage vs. collective pen housing for rabbits: Growth performance, carcass and meat quality. *Livestock Science*, 155(2–3), 407–414. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.05.013>
- Yalçın, S., Onbaşlılar, E. E., & Onbaşlılar, İ. (2006). Effect of sex on carcass and meat characteristics of New Zealand White rabbits aged 11 weeks. *Asian-Aust. J. Anim. Sci*, 19, 1212–1216.
- Zeferino, C. P., Komiyama, C. M., Fernandes, S., Sartori, J. R., Teixeira, P. S. S., & Moura, A. S. A. M. T. (2013). Carcass and meat quality traits of rabbits under heat stress. *Animal*, 7(3), 518-523.
- Zhang, Y.-M., Hopkins, D. L., Zhao, X.-X., van de Ven, R., Mao, Y.-W., Zhu, L.-X., Han, G.-X., & Luo, X. (2018). Characterisation of pH decline and meat color development of beef carcasses during the early postmortem period in a Chinese beef cattle abattoir. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(7), 1691–1695. [https://doi.org/10.1016/s2095-3119\(17\)61890-2](https://doi.org/10.1016/s2095-3119(17)61890-2)

CAPÍTULO 3 – Influência do tempo de resfriamento das carcaças sobre a progressão do *rigor mortis*, características de carcaça e propriedades físico-químicas relacionadas à cor e maciez dos músculos *longissimus thoracis et lumborum* e *biceps femoris* em coelhos Botucatu³

Resumo

O objetivo deste estudo foi caracterizar a progressão do *rigor mortis* e avaliar a influência do tempo de resfriamento sobre características de carcaça, cor e maciez da carne de coelhos Botucatu machos e fêmeas. Foram analisados os músculos *longissimus thoracis et lumborum* e *biceps femoris*. Com a progressão do tempo de resfriamento, PPR aumentou, enquanto PPD e VEPD diminuíram. RCF permaneceu estável por 18h de resfriamento, com maior rendimento para os machos. Os parâmetros de cor a*, b* e L* foram influenciados pelo sexo e tempo de resfriamento. O rigor se iniciou às 1,5h *post-mortem*, com seu estabelecimento entre 4,5h e 6h e resolução às 18h de resfriamento. O BF apresentou maior FC às 0h e 4,5h, com menor maciez nos machos em relação às fêmeas. CS foi menor às 24h no BF e a partir das 18h no LTL. IFM e CRA aumentaram com o tempo de resfriamento. Conclui-se, portanto, que o resfriamento das carcaças por 18h proporciona menores perdas, maior luminosidade e maior maciez à carne de coelhos Botucatu.

Palavras-chave: carne de coelho, ciência da carne, cunicultura, estabelecimento do rigor, *Oryctolagus cuniculus*, qualidade da carne

Introdução

A taxa e o tempo de refrigeração das carcaças impactam diretamente a progressão do *rigor mortis* e as propriedades físico-químicas dos músculos em diversas espécies animais (Tomović et al., 2008; Wang et al., 2018; Li et al., 2019;

³ Este capítulo corresponde ao artigo científico submetido à revista *Meat Science* e encontra-se em avaliação para publicação.

Yan et al., 2022). Carcaças de coelhos resfriadas em temperaturas próximas ao ponto de congelamento nas primeiras horas *post-mortem* podem apresentar prejuízos em sua qualidade devido ao encurtamento pelo frio (Jolley et al. 2007) e, sobremaneira, quando congeladas antes de estabelecido o *rigor mortis*, em decorrência do fenômeno conhecido como rigor de descongelamento (Bendall, 1973; Lawrie, 2007).

Essas temperaturas extremas nos primeiros momentos pós-abate promovem diferentes taxas de acidificação e contração muscular, podendo comprometer as estruturas miofibrilares de tal maneira que a textura da carne seja alterada de forma irreversível, bem como os demais parâmetros tecnológicos e atributos sensoriais relacionados à percepção e preferência do consumidor frente ao produto final, como maciez, sabor, cor e suculência (Savell et al., 2005; Hite, 2021). São relativamente poucos os estudos que de fato avaliaram essas transformações na qualidade da carne durante os estágios pré- e pós-rigor para animais de produção (Wheeler & Koohmaraie, 1994; Farouk & Lovatt, 2000; Yu et al., 2005; Xiao et al., 2020).

Em países onde a cunicultura de corte vem se expandindo, a indústria tem buscado a padronização de seus processos, como ocorre no Brasil, o quarto maior produtor da carne de coelho das Américas (FAOSTAT, 2020). No entanto, apesar da legislação vigente (Brasil, 2017, 2020) determinar que as carcaças sejam resfriadas ou congeladas previamente ao seu transporte por questões sanitárias, não existe um consenso quanto ao tempo de resfriamento a ser empregado. Cada frigorífico adota seus processos de forma independente e sem o exato conhecimento de seu impacto sobre a qualidade final da carne, com carcaças ainda quentes, armazenadas indistintamente sob congelamento rápido no estágio pré-rigor.

Além disso, as diversas linhagens genéticas e raças de coelhos que têm surgido nos últimos anos têm demandado mais estudos com foco nas quebras nos frigoríficos e nas perdas em qualidade decorrentes das falhas nos processos de produção e na cadeia do frio. É o caso do grupo genético Botucatu, composto por animais de porte médio e selecionados para tamanho de ninhada e crescimento (Moura et al., 2000). Originados a partir de coelhos híbridos Norfolk 2000 (Nova Zelândia Branco vs Califórnia vs Gigante de Bouscat) (Moura et al., 2001), os coelhos de corte Botucatu têm sido recentemente implementados nas granjas

cunículas do Brasil, apresentando bons resultados em termos de eficiência alimentar e desempenho produtivo, mas ainda necessitam de estudos pontuais direcionados às suas características de carcaça e à qualidade de sua carne (Bianospino et al., 2006, 2008).

Diante desse cenário, o presente estudo teve como objetivo caracterizar o processo de *rigor mortis* e determinar o tempo ideal de resfriamento empregado nas primeiras 24 *post-mortem* para carcaças de coelhos Botucatu machos e fêmeas, por meio da avaliação das características de carcaça e das propriedades físico-químicas relacionadas à cor e maciez dos músculos *longissimus thoracis et lumborum* e *biceps femoris*

Material e Métodos

Animais, abate e carcaças

Foram utilizadas 160 carcaças de coelhos machos e fêmeas (n=80/sexo) do grupo genético Botucatu, abatidos aos 90 dias de idade e com peso vivo médio de 2,969Kg. Os animais foram criados no Setor Experimental de Cunicultura da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista (FCAV/UNESP), Campus de Jaboticabal, SP, Brasil (21°14'S, 48° 17'W, 583 m altitude), sob as mesmas condições de ambiência, manejo alimentar e sanitário, com aprovação da Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da referida Instituição (protocolo n. 1924/22).

Os coelhos utilizados foram desmamados aos 35 dias de idade, alojados em gaiolas do tipo *flat-deck*, onde permaneceram até os 90 dias de idade quando foram selecionados de forma aleatória dentro da população local e transportados por aproximadamente 4h para um frigorífico comercial inspecionado pelo S.I.F. (Serviço de Inspeção Federal) localizado em Mairinque, SP. Durante a fase de crescimento, os coelhos receberam água e feno de capim *Coast-Cross* (*Cynodon dactylon* (L.) pers.) *ad libitum* e ração comercial peletizada única de forma controlada (14% de Proteína Bruta, 3% de Extrato Etéreo, 18% de Fibra Bruta, 15% de Matéria Mineral, 5% de Fósforo, 10% de Cálcio e 13% de Umidade), de forma a atender às

exigências nutricionais da espécie (De Blas & Wiseman, 2010).

Todos os coelhos foram submetidos a jejum pré-abate de 12h, descanso no frigorífico (Cavani & Petracci, 2004) e insensibilizados por eletronarcose (110V, 60Hz, 1,40A e duração média de 3 segs), atendendo às recomendações do Regulamento (CE) N° 1099/2009 (Council Regulation, 2009). Uma vez insensibilizados, os animais foram pendurados pelos membros posteriores para realização da sangria por meio do corte da artéria carótida e da veia jugular, esfolados e, por fim, eviscerados.

O fluxo de abate seguiu sem quaisquer interferências na rotina do abatedouro, respeitando-se as exigências operacionais do Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal – RIISPOA (Brasil, 2017, 2020), quando, então, as carcaças quentes sem a cabeça foram pesadas e armazenadas em câmara fria com velocidade de circulação do ar a 0,3 a 1,0 m/s e temperatura configurada para $2 \pm 2^{\circ}\text{C}$, e submetidas a oito diferentes tempos de resfriamento pelo ar (T): 0h, 1,5h, 3h, 4,5h, 6h, 12h, 18h e 24h (n=20 carcaças/tempo). Além do painel digital acoplado à câmara fria, sua temperatura e umidade interna foram também monitoradas ao longo desse período com o auxílio de um termohigrômetro digital (Incoterm 7666).

Não há no Brasil a cultura de se comercializar carcaças de coelhos com cabeça, além do que o decreto nacional de 9.013/2017 determina que suas carcaças devam ser desprovidas de cabeça (Brasil, 2017); sendo assim, esta não foi incluída para fins de cálculos das características de carcaças.

Ao final dos respectivos tempos de resfriamento propostos, o pH e a temperatura das carcaças foram aferidos *in situ* no lado esquerdo da carcaça por meio de medidor digital portátil de pH e temperatura (Testo 205), acoplado a um eletrodo de penetração, por meio de sua inserção direta em aproximadamente 5 cm do músculo *longissimus lumborum* (LL), na altura da 5ª vértebra lombar, e no músculo *biceps femoris* (BF), pela parte interna da coxa (Pla & Dalle Zotte, 2000). As carcaças frias (n=10 carcaças/sexo) foram ainda pesadas para obtenção da perda de peso por resfriamento (PPR) (Ouhayoun & Dalle Zotte, 1996), embaladas, identificadas e armazenadas em túnel de congelamento rápido (-18°C com velocidade de circulação do ar a 3m/s). O rendimento da carcaça fria (RCF) foi

calculado conforme preconizado por Blasco Mateu et al. (1993), como segue:

$$\text{RCF (\%)} = \frac{\text{Peso de carcaça fria}}{\text{Peso vivo ao abate}} \times 100$$

As carcaças do tempo 0h foram imediatamente congeladas, sem resfriamento prévio em câmara fria. Optou-se pelo congelamento de todas as carcaças ao fim do resfriamento com o propósito de simular as práticas adotadas pelos frigoríficos cunículas brasileiros, os quais comercializam suas peças congeladas, quer seja na forma de carcaças inteiras ou em cortes; associado, ainda, a uma questão de logística de transporte e acondicionamento das amostras, sem acarretar em prejuízos à qualidade da carne.

Após 24h do congelamento do último grupo, todas as carcaças foram transportadas ao Laboratório de Análise de Alimentos de Origem Animal (LaOra), do Departamento de Biotecnologia Agropecuária e Ambiental da FCAV/UNESP, onde permaneceram congeladas por 48h, até serem descongeladas em câmaras climatizadas BOD, sob temperatura de 4°C por 24h. Após esse período, foi coletado o exsudato presente na embalagem e realizada a pesagem das carcaças descongeladas, para avaliação da perda de peso por descongelamento (PPD), expressa em porcentagem.

Logo em seguida, realizou-se a desossa de forma padronizada, em sala climatizada a 10°C, para coleta dos músculos *longissimus thoracis et lumborum* (LTL) e *biceps femoris* (BF), referentes aos cortes do lombo e da coxa/sobrecoxa, respectivamente, para sequencialmente proceder com todas as análises físico-químicas apresentadas.

Análises dos parâmetros físico-químicos da carne

Cor

Foi determinada com o auxílio do colorímetro Minolta CR-400 (Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japan) (configurações: diffuse lighting/0 viewing angle, D65

illuminant, specular component included), por meio do sistema CIELAB (L, a* e b*) (CIE, 1986). Foram avaliados a luminosidade (L*), a intensidade de vermelho (a*) e a intensidade de amarelo (b*) nas porções caudais dos músculos LTL e BF. A coloração foi determinada em triplicata, logo após a desossa, e depois de 30 minutos de exposição ao oxigênio, nas superfícies dorsal e ventral dos músculos.

pH dos cortes

O pH foi determinado em triplicata, utilizando-se um peagâmetro digital (Testo 205, Testo Inc., Sparta, NJ, USA) munido de eletrodo de penetração, por meio da inserção direta na porção caudal dos músculos LTL e BF.

Capacidade de retenção de água (CRA)

Foi determinada em triplicata segundo a metodologia descrita por Hamm (1960). Foram utilizados 2 g de amostra da porção caudal e medial dos músculos LTL e BF, respectivamente, postos entre dois papéis filtro e placas de acrílico, e submetidos à pressão exercida por um peso de 10 kg durante cinco minutos. Posteriormente, as amostras foram novamente pesadas para determinação da CRA, expressa em porcentagem.

Perda de peso por cozimento (PPC)

Foi determinada em amostras extraídas da porção caudal e medial dos músculos LTL e BF, respectivamente, utilizando-se da metodologia descrita por Honikel (1987). Amostras de tamanho e peso aproximados foram pesadas, embaladas e cozidas em banho-maria (85°C) durante 40 minutos. Após o resfriamento em temperatura ambiente, foram novamente pesadas para determinação da PPC, expressa em porcentagem.

Força de cisalhamento (FC)

Foram utilizadas amostras cozidas provenientes da análise de PPC. Após o resfriamento em temperatura ambiente, as amostras foram cortadas em seções de aproximadamente 1cm^2 , as quais foram posicionadas com as fibras orientadas no sentido perpendicular ao dispositivo *Warner-Bratzler*, acoplado ao texturômetro *Texture Analyser TA-XT2i*, e submetidas ao corte em triplicata, o qual expressou a força necessária para cisalhar as amostras em Newton, de acordo com o método descrito por Lyon et al. (1998).

Índice de Fragmentação Miofibrilar (IFM)

O IFM foi determinado em triplicata pela metodologia proposta por Culler et al. (1978) e complementada com o uso da técnica de biureto (Gornal et al., 1949), utilizada para determinar a concentração de proteínas na suspensão de miofibrilas originada das amostras do LTL e do BF, em sua porção cranial e distal, respectivamente, por meio da fórmula $\text{IFM} = \text{densidade óptica} \times 200$.

Comprimento de sarcômero

O comprimento de sarcômero foi determinado pelo método que utiliza microscopia de contraste de fases (Cross et al., 1981). Foram homogeneizados 0,5 g de sub amostras das porções distal e cranial do BF e do LTL, respectivamente, em Ultra-Turrax (Marconi MA102, Marconi Equipamentos Para Laboratórios Ltda., Piracicaba, São Paulo, Brasil) com 30 mL de solução de cloreto de potássio 0,08 mol/L e iodeto de potássio 0,08 mol/L, a uma velocidade de 15000 rpm, por 30 segundos, para romper as células e facilitar a suspensão das miofibrilas.

Uma gota do homogenato foi transferida para lâmina e coberta por uma lamínula. Foram realizadas 12 leituras/lâmina em microscópio óptico (Novel BM2100, Nanjing Jlangnan Novel Optics., Ltd., China, República Popular) por meio do contraste de fases em ampliação de 1000x (objetiva 100x, ocular 10x), com aplicação de uma gota de óleo de imersão sobre a lamínula. O comprimento do sarcômero foi expresso em μm .

Análise estatística

Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado distribuído em esquema fatorial 2 x 8 (sexo vs tempo de resfriamento das carcaças) com 10 repetições. Os resultados foram analisados por meio do Proc GLM do programa estatístico SAS (SAS Institute Inc, 2002 – 2003, Cary, NC, USA). Os dados foram testados pela análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste Tukey, com nível de significância definido em 5%.

Resultados e discussão

Temperatura

Durante a coleta de dados, a temperatura e a umidade da câmara fria permaneceram constantes ($2,56 \pm 0,4$ °C e $72,7 \pm 4,4$ %, respectivamente) (Figura 1), enquanto as carcaças apresentaram temperatura inicial de $30,6 \pm 1,1$ °C, com declínio acentuado até se estabilizar às 4,5h *post-mortem*, ao atingir $3,6 \pm 0,1$ °C (Figura 2).

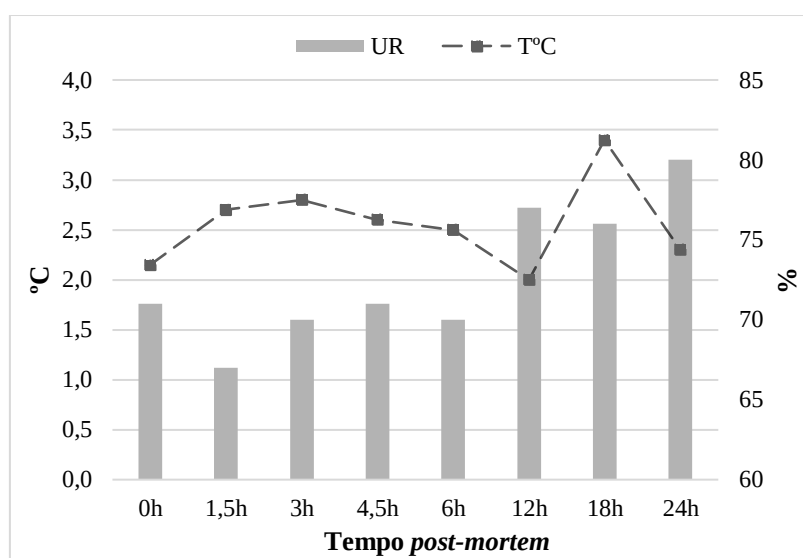


Figura 1. Evolução da temperatura (T°C) e da UR (%) da câmara fria durante as primeiras 24h *post-mortem*.

A média entre os valores de temperatura do LTL e BF corresponderam à temperatura média final da carcaça, uma vez que ambos os músculos seguiram o mesmo padrão de resfriamento. A redução na temperatura interna das carcaças dos coelhos Botucatu apresentou comportamento similar àquele registrado para o resfriamento de carcaças de perus, as quais demandaram de 3 a 6 horas para atingirem a temperatura interna de 4°C (Sams, 1999).

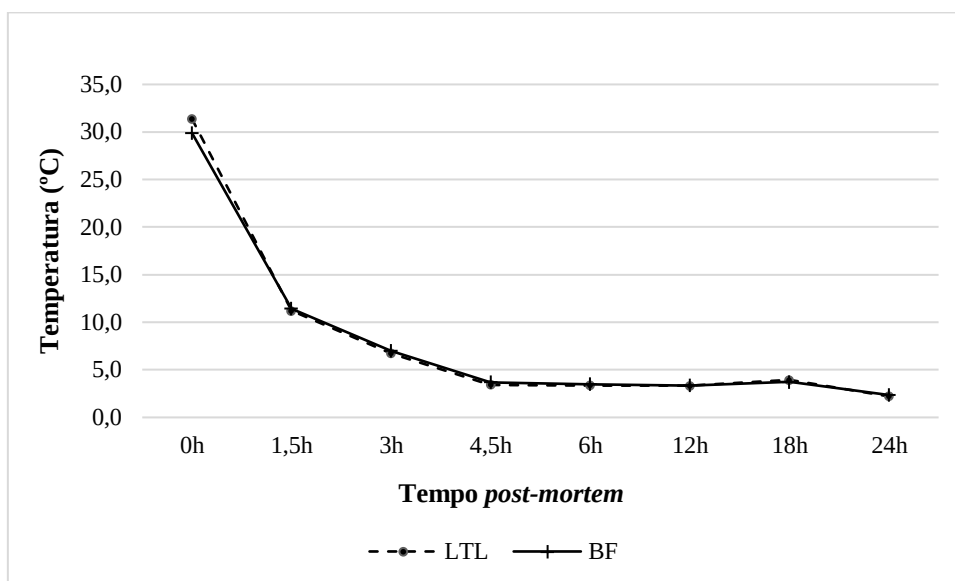


Figura 2. Evolução da temperatura dos músculos *longissimus thoracis et lumborum* (LTL) e *biceps femoris* (BF), durante as primeiras 24h *post-mortem*, em carcaças de coelhos Botucatu resfriadas a 4°C.

A alta temperatura corporal (~38°C) ao abate, associada ao rápido declínio do pH nas primeiras horas *post-mortem*, é extremamente prejudicial à funcionalidade das proteínas musculares (Bendall & Wismer-Pedersen, 1962; Warriss & Brown, 1987; Offer, 1991), às características de carcaça (James, 1996) e aos parâmetros tecnológicos, sensoriais e higiênicos relacionados à qualidade da carne (Honikel, 1991), sendo de suma importância para a indústria frigorífica, a instalação de equipamentos de refrigeração que tenham como finalidade a remoção de calor das superfícies musculares, bem como o monitoramento constante de seus parâmetros relacionados à preservação da carne, como umidade e temperatura.

Durante o processo de resfriamento, tanto a umidade relativa da câmara fria, quanto a circulação do ar frio, influenciam diretamente as taxas evaporativas e o

processo de secagem na superfície das carcaças (Daudin, 1986; Lebert et al., 2005), conforme será discutido *a posteriori*.

Características de carcaça

É importante ressaltar que as carcaças quentes utilizadas para compor este estudo foram uniformes em relação ao seu peso, sem diferenciação ($p = 0,0636$) quanto ao sexo do animal, apresentando peso médio de 1,548Kg, conforme pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1. Médias ($\pm$ EPM) dos valores para PCQ de coelhos Botucatu abatidos aos 90 dias de idade em função do sexo.

Sexo	PCQ (Kg)*
Fêmea	1,575 $\pm$ 0,02 ^A
Macho	1,521 $\pm$ 0,02 ^A
CV (%)	8,37
P - valor	0,0636

*Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de T ($p > 0,05$); PCQ: peso da carcaça quente.

As carcaças frias também não apresentaram diferenciação ($p = 0,0921$) quanto ao peso em relação à classe sexual, nem mesmo após o descongelamento, quando apresentaram os mesmos ($p = 0,4700$) valores de PCD para ambos os sexos. No entanto, pôde ser observado maior ($p = 0,0147$) rendimento de carcaça fria para os machos do que para as fêmeas, com diferença de 0,85% (Tabela 2), o que pode ser atribuído ao fato de fêmeas em idade de abate já apresentarem trato gastrointestinal mais pesado em relação ao dos machos (Luzi et al., 2000; Bianospino et al., 2006).

Tabela 2. Médias ($\pm$ EPM) dos valores de PCF, PCD, PCF, PPR, PPD, VEPD e pH do LTL e do BF para coelhos Botucatu em função do sexo e do tempo de resfriamento das carcaças.

	PCF (Kg)	PCD (kg)	RCF (%)	PPR (%)	PPD (%)	VEPD (mL)	pH (LTL)	pH (BF)
<i>Sexo (S)</i>								
Fêmea	1,532 $\pm$ 0,02 ^A	1,539 $\pm$ 0,02 ^A	50,70 $\pm$ 0,28 ^B	1,93 $\pm$ 0,16 ^A	0,41 $\pm$ 0,04 ^A	2,71 $\pm$ 0,30 ^A	6,33 $\pm$ 0,06 ^A	6,36 $\pm$ 0,06 ^A
Macho	1,482 $\pm$ 0,02 ^A	1,481 $\pm$ 0,02 ^A	51,55 $\pm$ 0,30 ^A	2,05 $\pm$ 0,18 ^A	0,52 $\pm$ 0,06 ^A	2,88 $\pm$ 0,35 ^A	6,42 $\pm$ 0,06 ^A	6,36 $\pm$ 0,04 ^A
<i>Tempo de resfriamento das carcaças (T)</i>								
0h	-	1,582 $\pm$ 0,05 ^A	-	-	0,59 $\pm$ 0,14 ^A	3,71 $\pm$ 0,71 ^A	6,97 $\pm$ 0,06 ^A	6,76 $\pm$ 0,07 ^A
1,5h	1,524 $\pm$ 0,04 ^A	1,515 $\pm$ 0,04 ^A	51,12 $\pm$ 0,41 ^A	1,34 $\pm$ 0,08 ^D	0,53 $\pm$ 0,11 ^A	3,18 $\pm$ 0,70 ^A	6,63 $\pm$ 0,11 ^{AB}	6,51 $\pm$ 0,12 ^{AB}
3h	1,516 $\pm$ 0,04 ^A	1,509 $\pm$ 0,04 ^A	51,05 $\pm$ 0,62 ^A	1,87 $\pm$ 0,07 ^{CD}	0,47 $\pm$ 0,09 ^A	2,99 $\pm$ 0,56 ^A	6,34 $\pm$ 0,07 ^{BC}	6,33 $\pm$ 0,06 ^{BC}
4,5h	1,520 $\pm$ 0,04 ^A	1,510 $\pm$ 0,04 ^A	50,94 $\pm$ 0,38 ^A	1,93 $\pm$ 0,05 ^C	0,43 $\pm$ 0,12 ^A	2,77 $\pm$ 0,75 ^A	6,32 $\pm$ 0,09 ^{BC}	6,38 $\pm$ 0,06 ^{BC}
6h	1,515 $\pm$ 0,04 ^A	1,505 $\pm$ 0,04 ^A	50,83 $\pm$ 0,61 ^A	1,99 $\pm$ 0,20 ^C	0,46 $\pm$ 0,10 ^A	3,01 $\pm$ 0,70 ^A	6,29 $\pm$ 0,07 ^{BC}	6,30 $\pm$ 0,13 ^{BC}
12h	1,483 $\pm$ 0,04 ^A	1,476 $\pm$ 0,04 ^A	50,42 $\pm$ 0,41 ^A	2,26 $\pm$ 0,13 ^C	0,48 $\pm$ 0,12 ^A	3,10 $\pm$ 0,33 ^A	6,16 $\pm$ 0,07 ^C	6,22 $\pm$ 0,05 ^{BCD}
18h	1,482 $\pm$ 0,04 ^A	1,476 $\pm$ 0,04 ^A	50,18 $\pm$ 0,43 ^{AB}	2,90 $\pm$ 0,11 ^B	0,41 $\pm$ 0,06 ^A	3,18 $\pm$ 0,58 ^A	6,13 $\pm$ 0,04 ^C	6,23 $\pm$ 0,06 ^{BCD}
24h	1,465 $\pm$ 0,04 ^A	1,462 $\pm$ 0,04 ^A	49,91 $\pm$ 0,62 ^B	3,63 $\pm$ 0,22 ^A	0,16 $\pm$ 0,04 ^B	1,66 $\pm$ 0,62 ^B	6,10 $\pm$ 0,08 ^C	6,16 $\pm$ 0,08 ^D
<i>P - valor</i>								
P (S)	0,0921	0,4700	0,0147	0,1522	0,1525	0,8073	0,1281	0,9456
P (T)	0,4299	0,0640	< 0,0001	< 0,0001	0,0351	0,0217	< 0,0001	< 0,0001
P (S $\times$ T)	0,9792	0,9763	0,1500	0,0900	0,9171	0,1459	0,8035	0,5068
CV (%)	8,13	8,91	2,95	19,16	7,30	6,69	3,98	4,10

^{A-D} Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). PCF: peso da carcaça fria; PCD: peso da carcaça descongelada; RCF: rendimento de carcaça fria; PPR: perda de peso por resfriamento; PPD: perda de peso por descongelamento; VE: volume de exsudato pós-descongelamento; pH: pH ao final do resfriamento; LTL: *Longissimus thoracis et lumborum*; BF: *Biceps femoris*.

Não houve efeito do sexo dos animais ($p > 0,05$) sobre as demais características de carcaça avaliadas; ao contrário do tempo de resfriamento das carcaças, que influenciou significativamente os valores de RCF, PPR, PPD, VEPD e pH dos músculos LTL e BF (Tabela 2).

À medida que o tempo de resfriamento avançou, as carcaças frias perderam mais peso, com maior quebra observada na 24^a hora do armazenamento resfriado (PPR_{1,5h}: 1,34% $\rightarrow$ PPR_{24h}: 3,63%). Essas perdas foram refletidas de forma inversamente proporcional no rendimento de carcaça fria, que seguiu estável durante as primeiras 18h de resfriamento, assumindo valores de 50,18% a 51,12%, quando, a partir de então, apresentou o menor valor dentre os tempos avaliados (RCF_{24h}: 49,91%), como pode ser observado na figura 3.

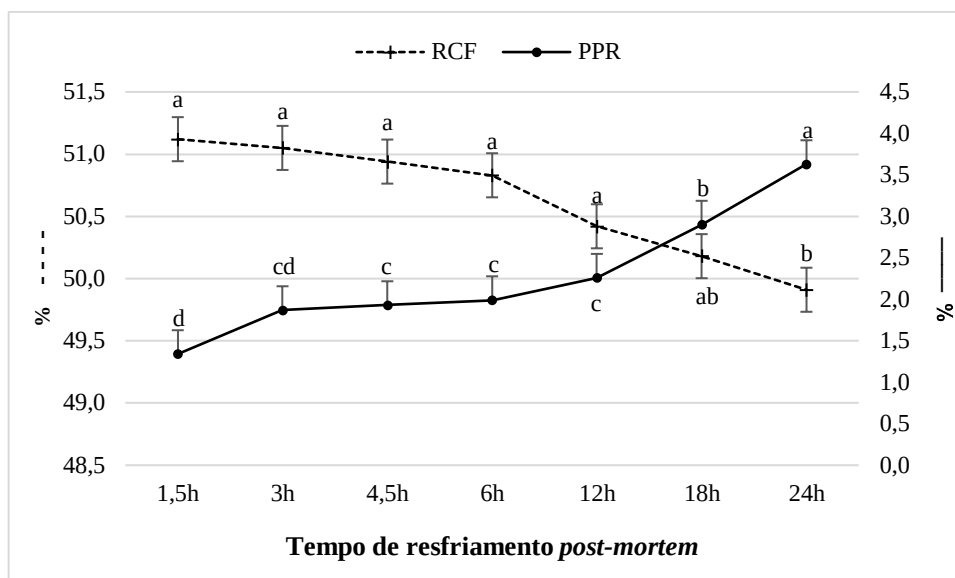


Figura 3. Rendimento de carcaça fria (RCF) (%) e perda de peso por resfriamento (PPR) (%) em função do tempo de resfriamento das carcaças de coelhos Botucatu; ^{a - d} Letras diferentes entre os tempos diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A perda de peso das carcaças durante o resfriamento *post-mortem* é um processo natural ocasionado pela desidratação de sua superfície por via evaporativa e pela exsudação via gotejamento (Greer & Jones, 1997), o que acaba por reduzir gradativamente o peso da carcaça ao longo do armazenamento resfriado e, conseqüentemente, seu rendimento. Em larga escala, pode acarretar prejuízos econômicos relevantes, um dos motivos pelos quais a indústria busca meios de encurtar o tempo de resfriamento para que eventuais perdas possam ser reduzidas (James, 1996).

A perda de peso observada para as carcaças dos coelhos Botucatu a partir das 18h de resfriamento foi expressiva, até mesmo se comparada àquelas observadas para grandes espécies como bovinos, os quais apresentam perdas na ordem de 2% após 24h de resfriamento (Jones & Robertson, 1988; Greer & Jones, 1997; Kinsella et al., 2006), o que acabou por comprometer o rendimento de carcaça, ao apresentarem perdas acima de 3%. Os valores se justificam, pois, diferentemente de bovinos, os coelhos depositam gordura em regiões corporais bastante específicas, a saber, nas porções inguinal, peri-renal e escapular (Blasco et al., 1993), não apresentando, portanto, gordura de cobertura, o que reduziria a perda

de líquidos durante o resfriamento (Lopes et al., 2012). Além disso, a umidade da câmara fria ($72,7 \pm 4,4$ %) pode ter contribuído para tais perdas ao longo das 24h de resfriamento. De acordo com Cano-Muñoz & Muñoz (1991), é indicado que a umidade relativa no resfriamento se situe em torno de 80 - 90%, para que as perdas sejam reduzidas, evitando, também, o surgimento de carne mais seca e escura.

Ao congelar essas carcaças após os diferentes tempos de resfriamento e posteriormente descongelá-las, observou-se que a PPR também foi inversamente proporcional ao volume de exsudato (VEPD), com menores volumes registrados para carcaças resfriadas por 24h (Figura 4). O comportamento observado entre essas duas variáveis demonstra que quanto maior o tempo de resfriamento das carcaças, maiores serão as perdas durante o armazenamento resfriado e, conseqüentemente, menores as perdas após o descongelamento, e vice-versa.

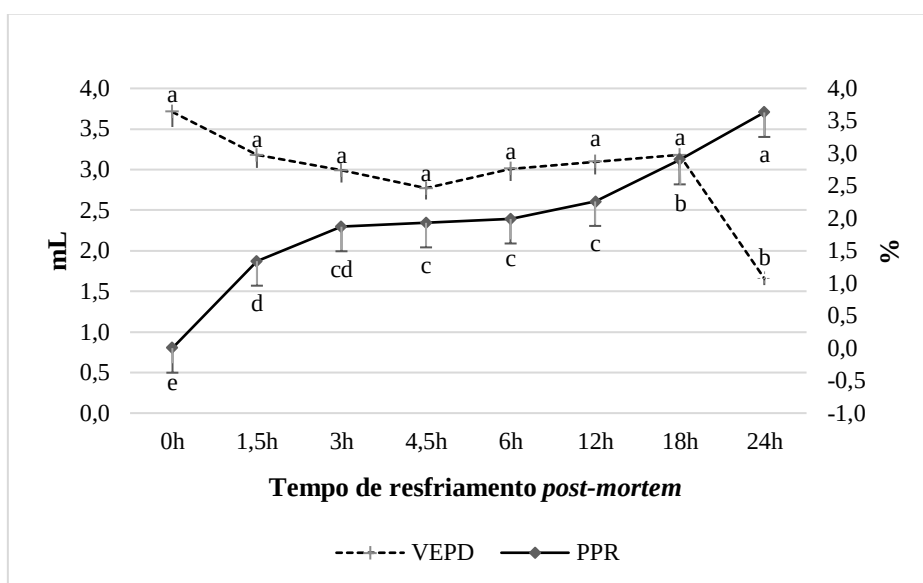


Figura 4. Volume de exsudato pós-descongelamento (VEPD) (mL) e perda de peso por resfriamento (PPR) (%) em função do tempo de resfriamento das carcaças de coelhos Botucatu; ^{a - e} Letras diferentes entre os tempos diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Essa queda observada no VEPD, em função do aumento no tempo de resfriamento das carcaças, seguiu a mesma tendência registrada para a PPR, com menores perdas após as 18h de resfriamento (Figura 5). Resultados já esperados, uma vez que, quanto maior a perda de exsudato no transcorrer do processo de

descongelamento, maior a perda de peso da carcaça descongelada.

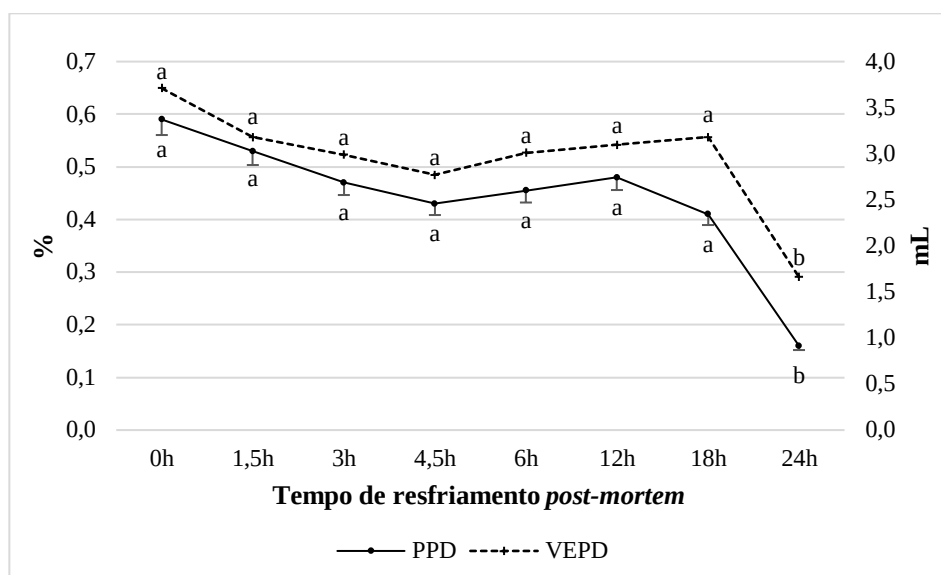


Figura 5. Volume de exsudato pós-descongelamento (VEPD) (mL) e perda de peso por descongelamento (PPD) (%) em função do tempo de resfriamento das carcaças de coelhos Botucatu; ^{a - b} Letras diferentes entre os tempos diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O congelamento é considerado um dos processos de conservação mais eficientes utilizados para manter a qualidade da carne a longo prazo, resultando em alterações mínimas nas propriedades qualitativas e sensoriais do alimento (Hendrick et al., 1989). Durante o congelamento, cristais de gelo são formados a partir da água livre no tecido muscular, ocasionando a ruptura de proteínas sarcoplasmáticas e das membranas celulares, levando à redistribuição da água intra e extra celular (Shenouda, 1980). Essa ruptura das proteínas miofibrilares promove perda de exsudato, com consequente aumento na concentração de solutos e perda de peso ao descongelamento (Becker & Fricke, 1999; Chwastowska-Siwiecka et al.; 2013). Em geral, o congelamento rápido em túneis de congelamento sob temperaturas inferiores a -18°C , como o utilizado neste estudo, controla o número e o tamanho dos cristais de gelo formados (Banerjee & Maheswarappa, 2019), inibindo maiores lesões no tecido muscular.

No entanto, a perda de peso por descongelamento se torna um problema quando o músculo é congelado na fase pré-rigor, resultando em rápida glicólise e

depleção de ATP durante o descongelamento (Dransfield, 1996). Ao ser descongelada, a carne pré-rigor dá sequência ao processo de rigor e reduz os espaços miofibrilares, forçando o movimento da água para os espaços extra-miofibrilares, com sua consequente exsudação via gotejamento (Huff-Lonergan & Lonergan, 2005), conferindo maiores perdas ao descongelamento do que em carnes congeladas/descongeladas no pós-rigor (Kim et al, 2012), o que nos dá um indício de que, a partir das 18h de resfriamento, o processo de *rigor mortis* nas carcaças de coelhos Botucatu já havia sido estabelecido.

O processo de *rigor mortis* envolve uma série de complexas reações bioquímicas nos tecidos musculares que resultam na transformação do músculo em carne nas primeiras horas *post-mortem*. Apesar de seus mecanismos de ação não terem sido completamente elucidados, sabe-se que esse fenômeno é compreendido por três fases distintas: pré-rigor (fase de atraso), rigor propriamente dito (fase rápida) e pós-rigor (Bate-Smith & Bendall, 1949; Bendall, 1973).

O pré-rigor é caracterizado pela glicólise ativa, processo pelo qual o glicogênio residual do músculo é convertido anaerobicamente em ácido láctico, em decorrência da paralisação no aporte de oxigênio, dando início ao processo de acidificação muscular (Lawrie, 2007), o que acarreta na inativação das enzimas envolvidas no processo de glicólise, encerrando, em definitivo, a refosforilação do ADP (Greaser, 1986; Matarneh et al., 2017). Nessa fase não há alteração na elasticidade do músculo, com extensibilidade constante e elevada.

Logo, a inibição da síntese de ATP faz com que complexos actomiosínicos comecem a se formar, conferindo aos músculos menor extensibilidade, diferentemente de sua natureza flexível e elástica, antes observada, caracterizando o início do *rigor mortis* propriamente dito (Bendall, 1973; Greaser, 1986; Aberle et al., 2001; Matarneh et al., 2017). A fase rápida termina quando a inextensibilidade muscular alcança seu máximo, ao atingir maior estado de rigidez, configurando o estabelecimento do rigor.

Já na fase pós-rigor, com o esgotamento das reservas de glicogênio e estabilização do pH, o músculo permanece inextensível até que alterações estruturais promovidas pela degradação proteolítica ocorram, com o relaxamento dos complexos actomiosínicos, especialmente atribuídas à ação enzimática das

calpaínas e calpastatinas, responsáveis pelo processo de maturação da carne, conferindo novamente certo grau de extensibilidade muscular, configurando a etapa de resolução do rigor (Aberle et al., 2001).

No presente estudo, o pH dos músculos LTL e BF apresentaram queda acentuada durante as três primeiras horas *post-mortem*, quando, a partir de então, verificou-se declínio menos acentuado até que se completassem as 24h *post-mortem*. Os valores mais altos de pH foram registrados às 0h (LTL: 6,97 e BF: 6,76) e os mais baixos a partir das 12h (LTL: 6,16 → 6,10) e às 24h (BF: 6,16) de resfriamento das carcaças.

Quando o músculo atinge seu pH final, é indicativo de que a glicólise foi concluída e que ele se encontra em completo *rigor mortis*, podendo ser cozido e cortado, sem que o encurtamento das fibras musculares interfira em seus parâmetros de maciez (Wheeler & Koohmaraie, 1994). Baseado na cinética de acidificação muscular, é possível inferir que a fase pré-rigor tenha ocorrido rapidamente após o abate, durante a primeira 1,5h *post-mortem*, dando, a partir de então, início ao rigor propriamente dito, com seu total estabelecimento às 6h *post-mortem* para ambos os músculos, quando se iniciou a fase pós-rigor, cuja resolução se mostrou completa a partir das 18h de resfriamento.

Os valores de pH são condizentes com aqueles já reportados na literatura científica, sobretudo pela maior taxa de acidificação observada para o LTL durante as 24h *post-mortem* (Peiretti et al., 2013; Dalle Zotte et al., 2016; Daszkiewicz & Gugolek, 2020; Składanowska-Baryza & Stanisz, 2020). Sob circunstâncias normais, o pH muscular de coelhos vivos é próximo à neutralidade (Bate-Smith & Bendall, 1949), decrescendo abruptamente nos primeiros estágios *post-mortem* e de maneira menos acentuada nas horas subsequentes (Ikeuchi & Fukazawa, 1980; Hulot & Ouhayoun, 1999). Após o abate, o consumo das reservas glicolíticas continua até que as moléculas de ATP se esgotem, traduzindo-se na queda do pH em função do acúmulo de ácido láctico e íons H⁺ (Sanfelice et al., 2010; Shija et al., 2013).

Já em relação às diferentes taxas de acidificação muscular observadas entre os músculos, estas estão relacionadas às distintas características das fibras musculares e ao seu potencial glicolítico (Daszkiewicz & Andrzej Gugolek, 2020). Por se tratar de um músculo de contração lenta, com altos níveis de metabolismo

oxidativo e baixo potencial glicolítico, o BF se apresenta menos ácido que o LTL (Hernández et al., 1998; Hulot & Ouhayoun, 1999; Dalle Zotte et al., 2016).

Não foi observada interação significativa entre o tempo de resfriamento das carcaças e o sexo dos animais para nenhuma das características de carcaça avaliadas.

Lombo (*longissimus thoracis et lumborum* – LTL)

O sexo e o tempo de resfriamento das carcaças apresentaram efeito significativo sobre a cor do músculo LTL para ambas as superfícies (Tabela 3).

Tabela 3. Médias ($\pm$ EPM) dos valores de luminosidade (L^*), intensidade de vermelho (a^*) e intensidade de amarelo (b^*) nas superfícies dorsal e ventral do músculo *longissimus thoracis et lumborum* de coelhos Botucatu em função do sexo e do tempo de resfriamento das carcaças durante as primeiras 24h *post-mortem*.

	Superfície ventral			Superfície dorsal		
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
<i>Sexo (S)</i>						
Fêmea	52,58 $\pm$ 0,38	4,11 $\pm$ 0,14 ^B	0,15 $\pm$ 0,13 ^B	52,65 $\pm$ 0,34	4,23 $\pm$ 0,13	1,05 $\pm$ 0,12
Macho	51,64 $\pm$ 0,38	5,87 $\pm$ 0,20 ^A	0,70 $\pm$ 0,13 ^A	51,66 $\pm$ 0,57	6,15 $\pm$ 0,19	1,24 $\pm$ 0,13
<i>Tempo de resfriamento da carcaça (T)</i>						
0h	51,10 $\pm$ 0,84 ^{ABC}	5,01 $\pm$ 0,51	0,56 $\pm$ 0,22	49,40 $\pm$ 0,57 ^C	5,36 $\pm$ 0,47	0,42 $\pm$ 0,34 ^B
1,5h	52,82 $\pm$ 0,64 ^{ABC}	4,32 $\pm$ 0,29	0,30 $\pm$ 0,18	52,93 $\pm$ 0,44 ^{ABC}	5,17 $\pm$ 0,24	1,36 $\pm$ 0,36 ^{AB}
3h	49,94 $\pm$ 0,55 ^C	5,14 $\pm$ 0,28	0,24 $\pm$ 0,33	50,36 $\pm$ 0,58 ^{BC}	5,52 $\pm$ 0,34	0,87 $\pm$ 0,51 ^{AB}
4,5h	50,59 $\pm$ 0,51 ^{BC}	5,61 $\pm$ 0,40	0,36 $\pm$ 0,22	50,54 $\pm$ 1,78 ^{BC}	5,37 $\pm$ 0,29	1,46 $\pm$ 0,47 ^A
6h	53,47 $\pm$ 1,02 ^{AB}	4,97 $\pm$ 0,41	1,19 $\pm$ 0,37	53,38 $\pm$ 0,93 ^{AB}	5,36 $\pm$ 0,42	1,40 $\pm$ 0,62 ^{AB}
12h	52,52 $\pm$ 0,69 ^{ABC}	4,96 $\pm$ 0,14	0,70 $\pm$ 0,22	53,72 $\pm$ 0,55 ^{AB}	4,91 $\pm$ 0,22	1,22 $\pm$ 0,35 ^{AB}
18h	52,73 $\pm$ 0,72 ^{ABC}	4,72 $\pm$ 0,42	0,50 $\pm$ 0,24	53,91 $\pm$ 0,54 ^{AB}	5,02 $\pm$ 0,37	1,41 $\pm$ 0,53 ^A
24h	54,03 $\pm$ 0,61 ^A	4,81 $\pm$ 0,46	0,76 $\pm$ 0,23	54,85 $\pm$ 0,59 ^A	4,82 $\pm$ 0,31	1,06 $\pm$ 0,53 ^{AB}
<i>P – valor</i>						
P (S)	0,1451	< 0,0001	0,0038	0,1999	< 0,0001	0,2597
P (T)	0,0002	0,3411	0,0590	< 0,0001	0,9247	0,0180
P (S x T)	0,1956	0,0651	0,2492	0,1035	< 0,0001	0,629
CV (%)	7,27	3,63	32,26	8,88	27,59	10,86

^{A - C} Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); EPM: erro padrão da média.

Na superfície ventral, as intensidades de vermelho (a^*) e de amarelo (b^*) foram maiores para os machos e a luminosidade (L^*) mais intensa para as carcaças resfriadas por 24h, sem que houvesse interação significativa entre os fatores estudados para esta face do músculo.

Já na superfície dorsal, a luminosidade foi também mais intensa em carcaças resfriadas por 24h, com menor intensidade em carcaças não resfriadas (0h). As carcaças sem resfriamento (0h) registraram menor intensidade de amarelo (b^*), com distribuição irregular dentre os demais períodos avaliados. Foi observada interação significativa para a intensidade de vermelho (a^*).

Assim como observado na superfície ventral do músculo LTL, sua superfície dorsal também apresentou maior intensidade de vermelho (a^*) nos machos, independentemente do tempo de resfriamento a que as carcaças foram submetidas, tendendo a diminuir ao longo do resfriamento, com menor valor registrado ao final das 24h. No entanto, o contrário foi observado para a face dorsal do LTL das fêmeas, que apresentou menor intensidade de vermelho às 0h de resfriamento, seguindo estável nos demais tempos avaliados, conforme demonstrado na tabela 4.

Tabela 4. Desdobramento ($\pm$ EPM) da interação entre sexo e tempo de resfriamento das carcaças para a intensidade de vermelho (a^*) na superfície dorsal do músculo *longissimus thoracis et lumborum* em coelhos Botucatu.

Tempo	Sexo	
	Fêmea	Macho
	a^*_{dorsal}	
0h	$3,21 \pm 0,31^{Bb}$	$7,51 \pm 0,34^{Aa}$
1,5h	$4,09 \pm 0,3^{Aa}$	$6,24 \pm 0,36^{ABa}$
3h	$4,78 \pm 0,37^{Aa}$	$6,26 \pm 0,51^{ABa}$
4,5h	$4,77 \pm 0,26^{Aa}$	$5,97 \pm 0,47^{ABa}$
6h	$4,12 \pm 0,34^{Aa}$	$6,60 \pm 0,62^{ABa}$
12h	$4,25 \pm 0,25^{Aa}$	$5,56 \pm 0,35^{ABa}$
18h	$4,38 \pm 0,49^{Aa}$	$5,66 \pm 0,53^{ABa}$
24h	$4,24 \pm 0,27^{Ab}$	$5,40 \pm 0,53^{Ba}$

Médias seguidas por letras distintas nas colunas (maiúsculas) e nas linhas (minúsculas) diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); EPM: erro padrão da média.

À idade de abate, os coelhos de porte médio já buscam estabelecer a hierarquia social em seu grupo por meio de interações agonísticas, principalmente entre machos, que se encontram no início da puberdade (Girolami et al., 1996; Buijs et al., 2016; Krunt et al., 2022). Ao serem reagrupados após a pesagem pré-abate, os níveis de glicogênio muscular podem ter se exaurido em função do estresse provocado na tentativa de se estabelecer a dominância no grupo recém-formado com animais desconhecidos, fazendo com que os níveis de ácido láctico fossem reduzidos e o pH muscular se mantivesse mais elevado nos machos do que nas fêmeas (Hulot & Ouhayoun, 1999), conforme tendência observada para o LTL nas primeiras 24h *post-mortem*.

Esse pH mais básico proporciona menor percentual de umidade na superfície da carne, propiciando menor luminosidade e maior concentração de oximioglobina em sua superfície (Page et al., 2001; Sukumaran et al., 2018). Isso faz com que a carne expresse a cor vermelha com mais intensidade, o que justificaria a maior vermelhidão no LTL do macho em relação à fêmea e ao comportamento descendente desta variável ao longo do armazenamento para os machos, favorecendo a expressão de uma carne mais clara para esta categoria sexual no período pós-rigor. Além disso, coelhos machos tendem a possuir maior proporção de fibras aeróbicas com menor conteúdo de glicogênio muscular, o que também pode ter favorecido a intensidade de vermelho em suas superfícies musculares (Dalle Zotte et al, 1996; Lefaucheur, 2010).

A cor do LTL das fêmeas parece ter sido mais influenciada pela exposição contínua da carcaça com o ar da câmara fria do que somente pela queda do pH ao longo do armazenamento resfriado, quando se observou maior intensidade de vermelho nas horas subsequentes à fase pré-rigor. No músculo *post-mortem*, as mitocôndrias permanecem ativas e influenciam a cor da carne ao consumirem oxigênio. Logo, a expressão da metamioglobina é reduzida, conferindo à superfície que está exposta um tom mais avermelhado (Ramanathan & Mancini, 2018), que, associado à acidificação muscular, aumenta a luminosidade da carne, conforme verificado no presente estudo.

Claus & Sørheim (2006) também registraram que a superfície externa das carnes no pré-rigor apresentou menor intensidade de vermelho e de luminosidade, assim como verificado para o LTL das fêmeas. No entanto, os autores verificaram menor intensidade de amarelo para as carnes pós-rigor, com poucas diferenças verificadas na superfície interna. De igual modo, Carrillo-Lopez et al. (2021) registraram maior vermelhidão da carne de coelho à medida que o tempo de resfriamento avançou nas primeiras horas *post-mortem*.

Deve-se levar em consideração o fato de as carcaças terem sido congeladas ao final dos tempos de resfriamento. Uma vez submetidas a curtos períodos de resfriamento, as reservas de energia muscular não são completamente esgotadas, a carne fica mais exsudativa e com pH final elevado (Ouhayoun, 1989), sobretudo em carnes naturalmente menos ácidas como a dos machos. Sukumaran et al. (2018) ainda verificaram que maior luminosidade é esperada quando a mioglobina se encontra mais diluída em água, tornando-se menos concentrada, logo menos avermelhada, o que explicaria os resultados observados para o LTL dos machos submetidos a diferentes taxas de resfriamento. O fato é que essa ambiguidade na evolução da intensidade de vermelho entre carcaças de coelhos machos e fêmeas necessita ser melhor elucidada, apesar de ambas convergirem para valores similares ao final das 24h de resfriamento.

O pH final registrado para o músculo LTL após o descongelamento das carcaças apresentou interação significativa entre o sexo dos animais e o tempo de resfriamento das carcaças. No entanto, não foi verificada significância para as variáveis PPC e CRA (Tabela 5), muito provavelmente em função do decréscimo do pH durante o descongelamento até o ponto de não exercer nenhuma influência sobre estas variáveis.

Tabela 5. Médias ($\pm$ EPM) dos valores de pH final após o descongelamento (pH_f), perda de peso por cocção (PPC) e capacidade de retenção de água (CRA) do músculo *longissimus thoracis et lumborum* de coelhos Botucatu em função do sexo e do tempo de resfriamento das carcaças durante as primeiras 24h *post-mortem*.

	pH _f	PPC (%)	CRA (%)
Sexo (S)			
Fêmea	5,80 $\pm$ 0,02	26,32 $\pm$ 0,56	72,34 $\pm$ 0,42
Macho	5,85 $\pm$ 0,03	25,56 $\pm$ 0,46	73,19 $\pm$ 0,52
Tempo de resfriamento da carcaça (T)			
0h	5,77 $\pm$ 0,06	28,01 $\pm$ 0,73	70,71 $\pm$ 1,46
1,5h	5,72 $\pm$ 0,05	27,34 $\pm$ 1,03	73,95 $\pm$ 1,01
3h	5,92 $\pm$ 0,04	24,58 $\pm$ 1,05	73,94 $\pm$ 0,65
4,5h	5,76 $\pm$ 0,06	26,52 $\pm$ 0,92	71,74 $\pm$ 0,82
6h	5,70 $\pm$ 0,06	26,24 $\pm$ 1,17	72,99 $\pm$ 0,84
12h	5,90 $\pm$ 0,05	25,69 $\pm$ 0,98	73,41 $\pm$ 0,76
18h	5,86 $\pm$ 0,04	24,72 $\pm$ 1,11	73,08 $\pm$ 0,82
24h	5,98 $\pm$ 0,07	24,45 $\pm$ 0,90	72,32 $\pm$ 0,89
P - valor			
P (S)	0,1321	0,2863	0,2047
P (T)	0,0003	0,1055	0,1998
P (S x T)	0,0027	0,4400	0,6754
CV (%)	3,84	12,10	5,77

EPM: erro padrão da média.

O desdobramento da interação para o pH do músculo LTL verificado após o processo de descongelamento é apresentado na Tabela 6.

Tabela 6. Desdobramento ($\pm$ EPM) da interação entre sexo e tempo de resfriamento das carcaças para pH final após o descongelamento (pH_f) do músculo *longissimus thoracis et lumborum* em coelhos Botucatu.

Tempo	Sexo	
	Fêmea	Macho
	pH	
0h	5,64 $\pm$ 0,02 ^{Ba}	5,89 $\pm$ 0,02 ^{ABa}
1,5h	5,81 $\pm$ 0,08 ^{ABa}	5,63 $\pm$ 0,09 ^{Ba}
3h	6,00 $\pm$ 0,04 ^{Aa}	5,84 $\pm$ 0,05 ^{ABa}
4,5h	5,75 $\pm$ 0,06 ^{Ba}	5,77 $\pm$ 0,03 ^{Ba}
6h	5,65 $\pm$ 0,09 ^{Ba}	5,75 $\pm$ 0,10 ^{Ba}
12h	5,88 $\pm$ 0,40 ^{ABa}	5,91 $\pm$ 0,04 ^{ABa}
18h	5,84 $\pm$ 0,05 ^{ABa}	5,87 $\pm$ 0,07 ^{ABa}
24h	5,81 $\pm$ 0,07 ^{ABb}	6,10 $\pm$ 0,70 ^{Aa}

Médias seguidas por letras distintas nas colunas (maiúsculas) e nas linhas (minúsculas) diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); EPM: erro padrão da média.

Registrou-se comportamento irregular do pH em função do tempo de resfriamento das carcaças, porém com valores inferiores àqueles registrados no final do armazenamento resfriado, precedendo o congelamento ($\text{pH} < 6,10$). Durante as 48h de congelamento empregada, após o resfriamento das carcaças, e as 24h de seu descongelamento, o pH muscular continuou a cair, sobretudo quando os tempos de resfriamento foram muito curtos e não permitiram o esgotamento prévio das reservas de energia muscular (Ouhayoun, 1989), o que proporcionou essa heterogeneidade observada para o pH final do LTL de machos e fêmeas.

Com relação aos parâmetros relacionados à maciez, foi observado efeito ($p < 0,0001$) do tempo de resfriamento da carcaça sobre a força de cisalhamento, índice de fragmentação miofibrilar e comprimento de sarcômero do músculo LTL (Tabela 7). Contudo, essas variáveis não foram influenciadas pelo sexo dos animais ($p > 0,05$).

Tabela 7. Médias ($\pm$ EPM) dos valores de força de cisalhamento (FC), índice de fragmentação miofibrilar (IFM) e comprimento de sarcômero (CS) do músculo *longissimus thoracis et lumborum* de coelhos Botucatu em função do sexo e do tempo de resfriamento das carcaças durante as primeiras 24h *post-mortem*.

	FC (Kgf)	IFM	CS (μm)
Sexo (S)			
Fêmea	$1,457 \pm 0,05$	$71,28 \pm 1,38$	$2,08 \pm 0,02$
Macho	$1,443 \pm 0,04$	$74,39 \pm 1,54$	$2,10 \pm 0,01$
Tempo de resfriamento da carcaça (T)			
0h	$1,930 \pm 0,09^A$	$61,29 \pm 3,23^D$	$2,40 \pm 0,03^A$
1,5h	$1,472 \pm 0,07^B$	$66,60 \pm 1,74^{CD}$	$2,22 \pm 0,03^B$
3h	$1,298 \pm 0,07^B$	$66,37 \pm 3,14^{CD}$	$2,16 \pm 0,02^{BC}$
4,5h	$1,378 \pm 0,07^B$	$70,54 \pm 2,31^{BCD}$	$2,12 \pm 0,03^{BCD}$
6h	$1,445 \pm 0,09^B$	$74,35 \pm 2,19^{ABC}$	$2,10 \pm 0,02^{CD}$
12h	$1,296 \pm 0,07^B$	$77,72 \pm 2,29^{AB}$	$2,04 \pm 0,02^D$
18h	$1,495 \pm 0,08^B$	$81,83 \pm 2,25^A$	$1,87 \pm 0,02^E$
24h	$1,302 \pm 0,08^B$	$83,99 \pm 2,17^A$	$1,82 \pm 0,02^E$
P - valor			
P (S)	0,8436	0,0709	0,3621
P (T)	$< 0,0001$	$< 0,0001$	$< 0,0001$
P (S x T)	0,3116	0,1766	0,3009
CV (%)	2,98	14,84	13,33

^{A - E} Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); EPM: erro padrão da média.

A força de cisalhamento foi maior no LTL de carcaças que não foram resfriadas (1,930 Kgf), indicando maior dureza das amostras do tempo 0h em relação aos demais tempos de resfriamento (1,298 – 1,495 Kgf). Já o índice de fragmentação miofibrilar aumentou gradativamente à medida que o tempo de resfriamento das carcaças avançou, atingindo valores mais elevados em carcaças resfriadas por no mínimo 18h, conforme também demonstrado na figura 6.

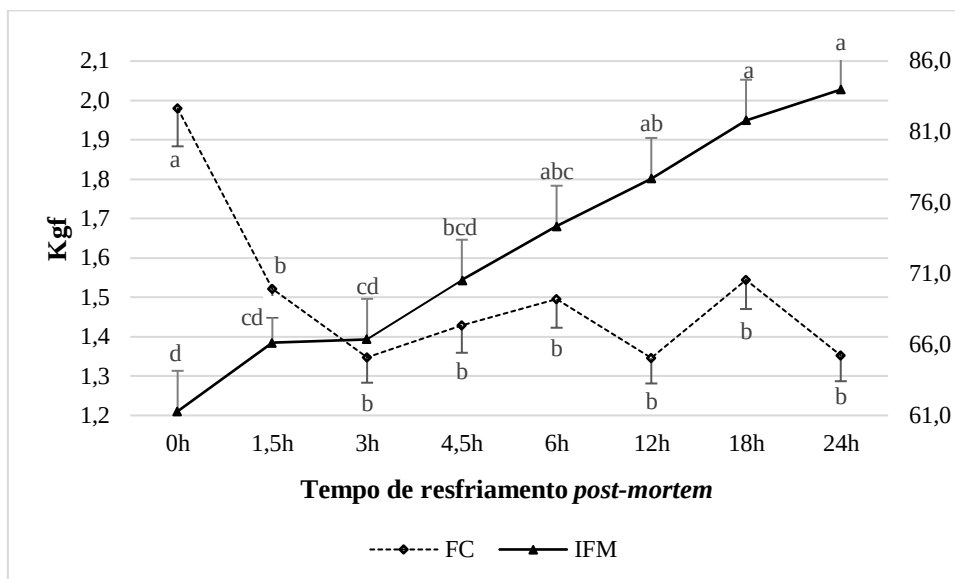


Figura 6. Força de cisalhamento (FC) (Kgf) e índice de fragmentação miofibrilar (IFM) do músculo *longissimus thoracis et lumborum* em função do tempo de resfriamento das carcaças de coelhos Botucatu; ^{a-d} Letras diferentes entre os tempos diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Já o comprimento de sarcômero do LTL apresentou comportamento inversamente proporcional ao do IFM, com os maiores valores registrados em amostras do tempo 0h (2,40 μm), reduzindo de tamanho gradativamente à medida que o tempo de resfriamento das carcaças avançou, demonstrando contração máxima nos tempos 18h e 24h (1,87 e 1,82 μm), conforme ilustrado na Figura 7.

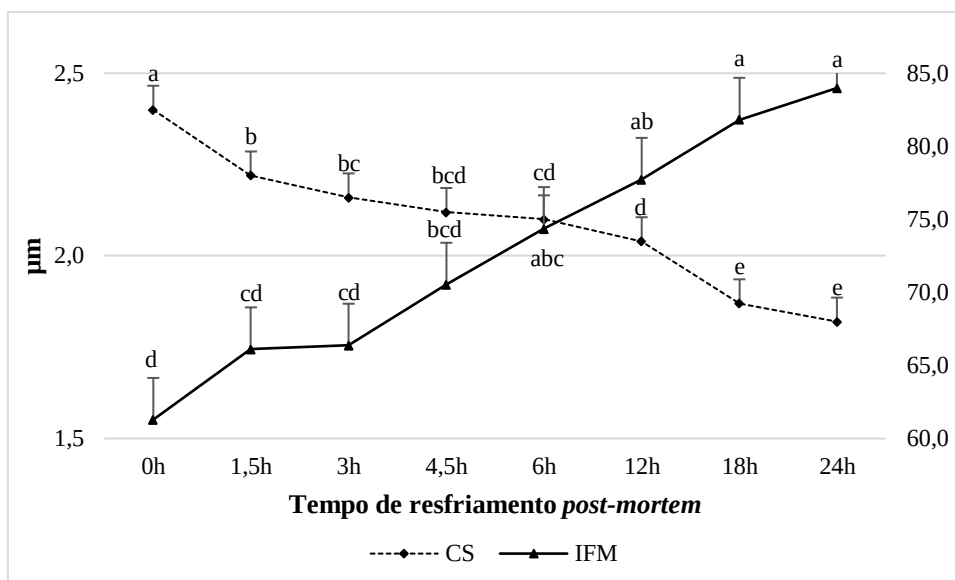


Figura 7. Comprimento de sarcômero (CS) (μm) e índice de fragmentação miofibrilar (IFM) do músculo *longissimus thoracis et lumborum* em função do tempo de resfriamento das carcaças de coelhos Botucatu; ^{a - e} Letras diferentes entre os tempos diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A FC é um importante indicador da maciez da carne (Xiao et al., 2020). Assim como o CS é um indicador da contração muscular que também reflete a maciez da carne (Hopkins et al., 2011). Durante o desenvolvimento do *rigor mortis*, o sarcômero retrai e posteriormente se alonga no pós-rigor, como resultado de sua resolução, ao passo que os valores de FC variam de acordo com essas alterações no tamanho do sarcômero (Geesink et al., 2011; Xiao et al., 2020).

Geralmente, o aumento da FC ocorre concomitantemente ao encolhimento do CS (Wheeler & Koohmaraie, 1994). No entanto, a destruição da estrutura miofibrilar sob ação de enzimas endógenas, como μ - calpaína, pode superar o endurecimento induzido pelo encurtamento de sarcômero, produzindo uma carne com menor força de cisalhamento no armazenamento (Wheeler & Koohmaraie, 1994), logo, mais macia, como observado para o LTL dos coelhos Botucatu.

Corroborando nossos resultados, Wheeler & Koohmaraie (1994), ao avaliarem as alterações na maciez da carne ovina pré e pós rigor, verificaram que o comprimento do sarcômero também diminuiu nas 24 h post mortem. Lan et al. (2016) ao avaliarem a maciez da coxa/sobrecoxa de coelhos, verificaram que a força de cisalhamento tendeu a diminuir com o tempo de armazenamento resfriado, assim

como relatado em um estudo anterior realizado por Vergara et al. (2005), que avaliou a maciez da carne de coelho durante o armazenamento.

Já o IFM está mais relacionado com o nível de maturação do músculo ou de degradação proteica (Birkhold & Sams, 1993, 1995) mediadas por ação da proteólise miofibrilar dos filamentos intermediários e pela atividade enzimática das calpaínas e catepsinas. Proteínas como desmina, troponina T e tinina degradam e provocam enfraquecimento das miofibrilas e subsequente amaciamento da carne (Carrillo-Lopez et al., 2021). Mas não se descarta a hipótese de que a perda de resistência da membrana celular causada pela formação de cristais de gelo possa também ter contribuído com a redução da força necessária ao cisalhamento das amostras (Leygonie et al., 2012).

Independentemente do mecanismo de ação, este índice tem como objetivo prever ao menos 50% da variação em maciez da carne (Hopkins et al., 2000). Segundo Taylor et al. (1995), o IFM é uma medida do tamanho médio das miofibrilas e está diretamente relacionado com textura, ou seja, com a maciez da carne. Quanto maior este índice, maior será a maciez da carne. Culler et al. (1978), asseguram que carnes com valores de IFM superiores a 60 apresentam textura satisfatória. Baseado nisso, nossos resultados demonstraram que o LTL de coelhos Botucatu submetido a até 24 de resfriamento, seguido pelo armazenamento congelado, é macio, ainda que maior FC tenha sido observada para carnes congeladas no pré-rigor.

Coxa/Sobrecoxa (*Biceps femoris* – BF)

Diferentemente do LTL, não houve efeito significativo do sexo e do tempo de resfriamento das carcaças sobre quaisquer dos parâmetros de cor na superfície ventral do músculo BF (Tabela 8). No entanto, na superfície dorsal houve efeito do sexo sobre a luminosidade (L^*), onde as fêmeas apresentaram maior ($p = 0,0008$) intensidade em relação aos machos (53,52 e 52,49, respectivamente). Além da interação ($p < 0,0001$) observada para a intensidade de vermelho (a^*) e de amarelo (b^*).

Tabela 8. Médias ($\pm$ EPM) dos valores de luminosidade (L^*), intensidade de vermelho (a^*) e intensidade de amarelo (b^*) nas superfícies dorsal e ventral do músculo *biceps femoris* de coelhos Botucatu em função do sexo e do tempo de resfriamento das carcaças durante as primeiras 24h *post-mortem*.

	Superfície ventral			Superfície dorsal		
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
<i>Sexo (S)</i>						
Fêmea	52,86 $\pm$ 0,28	5,10 $\pm$ 0,22	0,16 $\pm$ 0,17	53,52 $\pm$ 0,23 ^A	6,93 $\pm$ 0,21	0,43 $\pm$ 0,22
Macho	52,30 $\pm$ 0,55	5,31 $\pm$ 0,18	0,26 $\pm$ 0,12	52,49 $\pm$ 0,17 ^B	7,79 $\pm$ 0,21	1,36 $\pm$ 0,19
<i>Tempo de resfriamento da carcaça (T)</i>						
0h	51,96 $\pm$ 0,46	5,44 $\pm$ 0,40	-0,63 $\pm$ 0,23	54,24 $\pm$ 0,50	7,12 $\pm$ 0,55	-1,31 $\pm$ 0,35
1,5h	53,29 $\pm$ 0,50	5,44 $\pm$ 0,49	0,45 $\pm$ 0,37	52,92 $\pm$ 0,43	6,97 $\pm$ 0,29	1,00 $\pm$ 0,42
3h	51,47 $\pm$ 0,67	5,82 $\pm$ 0,43	0,27 $\pm$ 0,32	52,74 $\pm$ 0,40	7,56 $\pm$ 0,50	0,39 $\pm$ 0,39
4,5h	52,45 $\pm$ 0,47	5,53 $\pm$ 0,37	0,55 $\pm$ 0,25	52,70 $\pm$ 0,32	7,94 $\pm$ 0,33	0,35 $\pm$ 0,35
6h	52,36 $\pm$ 1,96	4,41 $\pm$ 0,25	0,23 $\pm$ 0,28	53,55 $\pm$ 0,49	6,78 $\pm$ 0,42	0,30 $\pm$ 0,30
12h	50,18 $\pm$ 0,60	5,71 $\pm$ 0,58	0,29 $\pm$ 0,31	52,72 $\pm$ 0,38	7,80 $\pm$ 0,88	0,45 $\pm$ 0,45
18h	53,41 $\pm$ 0,61	4,94 $\pm$ 0,41	0,33 $\pm$ 0,22	52,68 $\pm$ 0,42	7,90 $\pm$ 0,41	0,32 $\pm$ 0,32
24h	54,17 $\pm$ 0,43	4,75 $\pm$ 0,29	0,54 $\pm$ 0,28	52,75 $\pm$ 0,38	7,11 $\pm$ 0,23	0,45 $\pm$ 0,45
<i>P - valor</i>						
P (S)	0,2945	0,3146	0,8824	0,0008	0,0385	0,0079
P (T)	0,1439	0,1628	0,0565	0,1743	0,1856	< 0,0001
P (S x T)	0,1826	0,0627	0,0748	0,6002	< 0,0001	< 0,0001
CV (%)	8,59	2,03	7,07	4,17	2,85	2,03

^{A - B} Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); EPM: erro padrão da média.

Assim como observado nas superfícies ventral e dorsal do músculo LTL, a superfície dorsal do BF também apresentou maior intensidade de vermelho (a^*) para os machos em relação às fêmeas, contudo, somente em amostras do tempo 0h (9,07 e 5,30, respectivamente), sem diferenciação quanto ao sexo nos demais tempos.

Ao considerar o fator tempo de resfriamento, a mesma tendência registrada para a face dorsal do LTL nas fêmeas pôde também ser observada para a face dorsal do BF nesta mesma classe sexual, com menor intensidade de vermelho nas amostras com 0h de resfriamento em relação aos demais tempos, os quais apresentaram comportamento irregular. Novamente, tendência contrária foi verificada para os machos, cuja maior intensidade de vermelho se deu em amostras com 0h de resfriamento, com menores valores para os demais tempos, conforme

demonstrado na Tabela 9. Esses resultados estão de acordo as observações feitas para o LTL, cuja discussão já foi apresentada na seção anterior.

Tabela 9. Desdobramento ($\pm$ EPM) da interação entre sexo e tempo de resfriamento das carcaças para a intensidade de vermelho (a^*) e intensidade de amarelo (b^*) na superfície dorsal do músculo *biceps femoris* em coelhos Botucatu.

Tempo	Sexo	
	Fêmea	Macho
a^*_{dorsal}		
0h	$5,30 \pm 0,76^{Cb}$	$9,07 \pm 0,32^{Aa}$
1,5h	$6,28 \pm 0,21^{BC}$	$7,65 \pm 0,48^B$
3h	$8,05 \pm 0,76^{AB}$	$7,17 \pm 0,68^B$
4,5h	$7,54 \pm 0,33^{ABC}$	$8,35 \pm 0,56^{AB}$
6h	$5,68 \pm 0,35^{BC}$	$7,87 \pm 0,67^B$
12h	$9,37 \pm 1,53^A$	$6,74 \pm 0,96^B$
18h	$7,97 \pm 0,37^{AB}$	$7,84 \pm 0,74^B$
24h	$6,93 \pm 0,27^{BC}$	$7,29 \pm 0,37^B$
b^*_{dorsal}		
0h	$-1,71 \pm 0,56^C$	$-0,89 \pm 0,41^B$
1,5h	$-0,56 \pm 0,41^{BCb}$	$2,57 \pm 0,47^{Aa}$
3h	$1,60 \pm 0,67^{AB}$	$1,80 \pm 0,47^A$
4,5h	$-0,62 \pm 0,29^{BCb}$	$1,96 \pm 0,45^{Aa}$
6h	$0,97 \pm 0,54^B$	$0,76 \pm 0,29^{AB}$
12h	$1,71 \pm 0,53^{ABa}$	$-0,67 \pm 0,43^{Bb}$
18h	$1,93 \pm 0,47^A$	$2,13 \pm 0,44^A$
24h	$1,13 \pm 0,72^{AB}$	$2,28 \pm 0,52^A$

Médias seguidas por letras distintas nas colunas (maiúsculas)^{A-C} e nas linhas (minúsculas)^{a-b} diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); EPM: erro padrão da média.

Ainda com relação à superfície dorsal do BF das fêmeas, a intensidade de amarelo pareceu seguir o mesmo padrão de comportamento observado para a intensidade de vermelho, onde as carcaças sem resfriamento (0h) registraram menores índices, com distribuição irregular dentre os demais períodos avaliados. Assim como observado para os machos, que não apresentaram regularidade na intensidade de amarelo sobre a superfície dorsal do músculo BF ao longo de todo o armazenamento resfriado (Tabela 9).

Essa variação nos resultados de intensidade de amarelo, pode ser reflexo da coloração da fáscia que recobre não somente o BF, mas também o LTL. As fáscias

nada mais são do que extensas faixas largas de tecido conjuntivo fibroso composto por colágeno que circundam todo o músculo esquelético do animal (Schleip et al., 2012). Nos coelhos, elas possuem coloração bem característica, marcante e com distribuição heterogênea, cuja excisão ao momento da avaliação é bastante difícil, uma vez que estão bem unidas à face dorsal dos músculos.

Assim como observado para o LTL, o pH final registrado para o músculo BF após o descongelamento das carcaças apresentou interação ($p = 0,0002$) entre o sexo dos animais e o tempo de resfriamento das carcaças, da mesma forma que não foi verificada significância para PPC. No entanto, o tempo de resfriamento exerceu influência ($p = 0,0011$) sobre sua CRA (Tabela 10).

Tabela 10. Médias ($\pm$ EPM) dos valores de pH final após o descongelamento (pH_f), perda de peso por cocção (PPC) e capacidade de retenção de água (CRA) do músculo *biceps femoris* de coelhos Botucatu em função do sexo e do tempo de resfriamento das carcaças durante as primeiras 24h *post-mortem*.

	pH _f	PPC (%)	CRA (%)
<i>Sexo (S)</i>			
Fêmea	6,06 $\pm$ 0,02	27,86 $\pm$ 0,51	76,01 $\pm$ 0,61
Macho	6,01 $\pm$ 0,03	28,51 $\pm$ 0,48	75,50 $\pm$ 0,63
<i>Tempo de resfriamento da carcaça (T)</i>			
0h	5,97 $\pm$ 0,04	28,37 $\pm$ 1,47	71,80 $\pm$ 1,37 ^B
1,5h	5,96 $\pm$ 0,05	28,78 $\pm$ 0,76	74,61 $\pm$ 1,17 ^{AB}
3h	6,13 $\pm$ 0,05	27,61 $\pm$ 1,00	75,76 $\pm$ 1,16 ^{AB}
4,5h	5,94 $\pm$ 0,03	29,44 $\pm$ 1,04	75,05 $\pm$ 0,76 ^{AB}
6h	6,02 $\pm$ 0,07	28,61 $\pm$ 1,10	76,22 $\pm$ 0,81 ^{AB}
12h	6,10 $\pm$ 0,04	27,14 $\pm$ 0,75	75,55 $\pm$ 1,11 ^{AB}
18h	6,02 $\pm$ 0,05	27,6 $\pm$ 0,98	77,64 $\pm$ 1,35 ^A
24h	6,14 $\pm$ 0,06	27,93 $\pm$ 0,75	79,42 $\pm$ 1,44 ^A
<i>P – valor</i>			
P (S)	0,2042	0,3563	0,5390
P (T)	0,0069	0,7674	0,0011
P (S x T)	0,0002	0,2031	0,2037
CV (%)	3,50	11,05	6,87

^{A - B} Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); EPM: erro padrão da média.

A CRA foi menor em amostras do BF coletadas no tempo 0h (71,80%), e tendeu a aumentar à medida que as carcaças eram resfriadas por mais tempo, com valores superiores aos demais tempos às 18h e 24h de resfriamento (77,64% – 79,42%).

Os mais baixos valores de CRA parecem estar relacionados com lesões teciduais celulares e com a formação de cristais entre e dentro das fibras, levando a uma redistribuição de água e acúmulo de solutos durante o congelamento em função das mudanças no estado físico da água (Jalang'o et al., 1987; Chwastowska-Siwiecka et al.; 2013), acarretando em exsudação excessiva ao descongelamento (Dalle Zotte, 2002), corroborada pela mesma tendência observada para a variável VEPD.

As amostras descongeladas oriundas do tempo 0h (início) apresentaram valores de pH próximos ao ponto isoelétrico das proteínas miofibrilares, fazendo com que a CRA fosse menor no BF não resfriado e congelado no pré-rigor. Deatherage (1963) indicou que a capacidade da carne se ligar à água (CRA) é mínima em torno de pH 5,0 a 5,5, elevando-se à medida que o pH aumenta ou diminui, ao se afastar do ponto isoelétrico das proteínas musculares. Baixa CRA pode fazer com que os produtos se tornem inaceitáveis do ponto de vista tecnológico, devido à perda de nutrientes durante o armazenamento e o processamento (Xia et al., 2009), portanto, carcaças resfriadas por no mínimo 18h se mostraram com os melhores resultados para essa variável.

O desdobramento da interação para o pH do músculo BF verificado após o processo de descongelamento é apresentado na Tabela 11, onde, assim como para o LTL, observou-se comportamento heterogêneo do pH em função do tempo de resfriamento das carcaças, tanto para as fêmeas (5,91 – 6,23), quanto para os machos (5,83 – 6,29), o que pode ser justificado pelo gasto das reservas energéticas e queda irregular do pH durante as 24 horas de descongelamento das carcaças, precedendo a desossa e as análises, conforme bem fundamentado nas seções anteriores.

Tabela 11. Desdobramento ($\pm$ EPM) da interação entre sexo e tempo de resfriamento das carcaças para o pH final após o descongelamento (pH_f) do músculo *Biceps femoris* em coelhos Botucatu.

Tempo	Sexo	
	Fêmea	Macho
	pH	
0h	5,95 $\pm$ 0,02 ^{AB}	5,98 $\pm$ 0,09 ^{AB}
1,5h	6,09 $\pm$ 0,09 ^{AB}	5,83 $\pm$ 0,03 ^B
3h	6,23 $\pm$ 0,05 ^A	6,03 $\pm$ 0,07 ^{AB}
4,5h	6,00 $\pm$ 0,03 ^{AB}	5,88 $\pm$ 0,04 ^B
6h	5,91 $\pm$ 0,10 ^B	6,12 $\pm$ 0,09 ^{AB}
12h	6,17 $\pm$ 0,04 ^{AB}	6,03 $\pm$ 0,07 ^{AB}
18h	6,09 $\pm$ 0,07 ^{AB}	5,96 $\pm$ 0,07 ^B
24h	6,00 $\pm$ 0,7 ^{AB}	6,29 $\pm$ 0,08 ^A

^{A - B} Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); EPM: erro padrão da média.

Similarmente ao que foi observado para o LTL, houve efeito ($p = 0,0197$) do tempo de resfriamento da carcaça sobre a força de cisalhamento do BF, além do efeito ($p < 0,0001$) do sexo sobre este parâmetro, quando os machos apresentaram maior dureza em relação às fêmeas (FC_{machos}: 1,860 Kgf; FC_{fêmeas}: 1,631 Kgf) (Tabela 12).

O IFM também seguiu a mesma tendência observada e já discutida anteriormente para o LTL, com efeito ($p < 0,0001$) do tempo de resfriamento das carcaças sobre o BF. À medida que o período de armazenamento resfriado avançou, o IFM progrediu gradualmente, com menores valores registrados em amostras do tempo 0h (62,92) e maiores valores em amostras do tempo 24h (80,36) (Tabela 12).

Tabela 12. Médias ($\pm$ EPM) dos valores de força de cisalhamento (FC), índice de fragmentação miofibrilar (IFM) e comprimento de sarcômero (CS) do músculo *biceps femoris* de coelhos Botucatu em função do sexo e do tempo de resfriamento das carcaças durante as primeiras 24h *post-mortem*.

	FC (Kgf)	IFM	CS (μ m)
	Sexo (S)		
Fêmea	1,631 $\pm$ 0,04 ^B	70,92 $\pm$ 1,54	2,11 $\pm$ 0,01
Macho	1,860 $\pm$ 0,04 ^A	71,29 $\pm$ 1,55	2,09 $\pm$ 0,01

(continua)

Tabela 12. Médias ($\pm$ EPM) dos valores de força de cisalhamento (FC), índice de fragmentação miofibrilar (IFM) e comprimento de sarcômero (CS) do músculo *biceps femoris* de coelhos Botucatu em função do sexo e do tempo de resfriamento das carcaças durante as primeiras 24h *post-mortem*.

	FC (Kgf)	IFM	CS (μ m)
(conclusão)			
<i>Tempo de resfriamento da carcaça (T)</i>			
0h	1,920 $\pm$ 0,06 ^A	62,92 $\pm$ 2,47 ^C	2,21 $\pm$ 0,02
1,5h	1,715 $\pm$ 0,07 ^{BC}	64,3 $\pm$ 3,16 ^{BC}	2,24 $\pm$ 0,02
3h	1,610 $\pm$ 0,05 ^C	66,28 $\pm$ 3,34 ^{BC}	2,12 $\pm$ 0,02
4,5h	1,830 $\pm$ 0,08 ^A	68,17 $\pm$ 3,87 ^{ABC}	1,99 $\pm$ 0,02
6h	1,796 $\pm$ 0,13 ^B	74,96 $\pm$ 1,74 ^{ABC}	2,13 $\pm$ 0,02
12h	1,764 $\pm$ 0,07 ^B	75,44 $\pm$ 2,87 ^{AB}	2,15 $\pm$ 0,02
18h	1,662 $\pm$ 0,09 ^C	76,44 $\pm$ 2,51 ^{AB}	2,12 $\pm$ 0,03
24h	1,671 $\pm$ 0,07 ^C	80,36 $\pm$ 2,05 ^A	1,88 $\pm$ 0,02
<i>P – valor</i>			
P (S)	< 0,0001	0,8539	0,1446
P (T)	0,0197	< 0,0001	< 0,0001
P (S x T)	0,8895	0,2981	< 0,0001
CV (%)	2,47	17,75	11,69

^{A-C} Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).
EPM: erro padrão da média.

É interessante destacar que houve dois momentos em que a força de cisalhamento no BF foi mais pronunciada, em carcaças resfriadas por 0h (1,920 Kgf) e 4,5h (1,830 Kgf) (Figura 8).

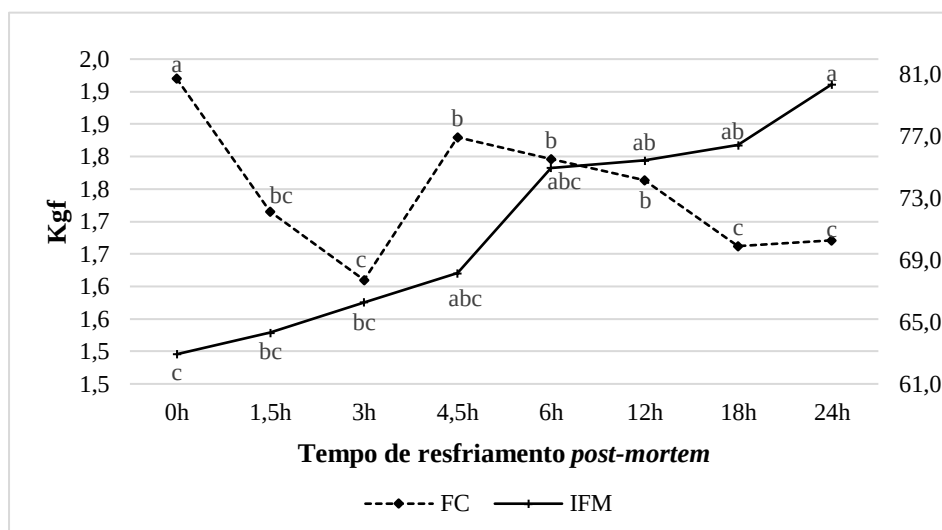


Figura 8. Força de cisalhamento (FC) e índice de fragmentação miofibrilar (IFM) do m. *biceps femoris* em função do tempo de resfriamento das carcaças de coelhos Botucatu; ^{a - c} Letras diferentes entre os tempos diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os picos de dureza foram seguidos por um declínio máximo da força nos tempos 3h (1,610 Kgf) e 18h (1,662 Kgf), respectivamente; o que se relaciona ao estabelecimento e à resolução do *rigor mortis*, por volta das 4,5h e das 18h de resfriamento *post-mortem*, respectivamente.

As variáveis FC e IFM ainda se relacionaram com o comprimento de sarcômero, que apresentou interação ($p < 0,0001$) entre os fatores estudados (Tabela 13).

Tabela 13. Desdobramento ($\pm$ EPM) da interação entre sexo e tempo de resfriamento das carcaças para o comprimento de sarcômero (CS) do músculo *biceps femoris* em coelhos Botucatu.

Tempo	Sexo	
	Fêmea	Macho
	CS (μm)	
0h	2,25 $\pm$ 0,04 ^A	2,17 $\pm$ 0,03 ^{AB}
1,5h	2,15 $\pm$ 0,03 ^{ABb}	2,32 $\pm$ 0,03 ^{Aa}
3h	2,11 $\pm$ 0,04 ^{AB}	2,13 $\pm$ 0,33 ^{AB}
4,5h	2,03 $\pm$ 0,03 ^{BC}	1,96 $\pm$ 0,03 ^{BC}
6h	2,25 $\pm$ 0,04 ^{Aa}	2,01 $\pm$ 0,02 ^{BCb}
12h	2,12 $\pm$ 0,02 ^{AB}	2,17 $\pm$ 0,03 ^{AB}
18h	2,08 $\pm$ 0,04 ^{BC}	2,16 $\pm$ 0,04 ^{BC}
24h	1,94 $\pm$ 0,03 ^C	1,81 $\pm$ 0,03 ^C

Médias seguidas por letras distintas nas colunas (maiúsculas) e nas linhas (minúsculas) diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); EPM: erro padrão da média.

O CS diminuiu gradativamente à medida que o tempo de resfriamento das carcaças avançou, para ambos os sexos, com contração máxima primeiramente às 4,5h (Fêmeas: 2,03 μm ; Machos: 1,96 μm), mais uma vez indicando o estabelecimento do *rigor mortis* ao fim desse tempo (Tabela 13), tal qual corroborado pela FC máxima. O CS do BF de machos e fêmeas foram iguais ($p > 0,05$) para as carcaças submetidas a todos os tempos de resfriamento, com exceção àquelas resfriadas por 6h, quando as fêmeas apresentaram maior CS.

Na figura 9, pode ser visto como a força de cisalhamento se comporta em relação ao comprimento de sarcômero do BF em coelhos machos e fêmeas.

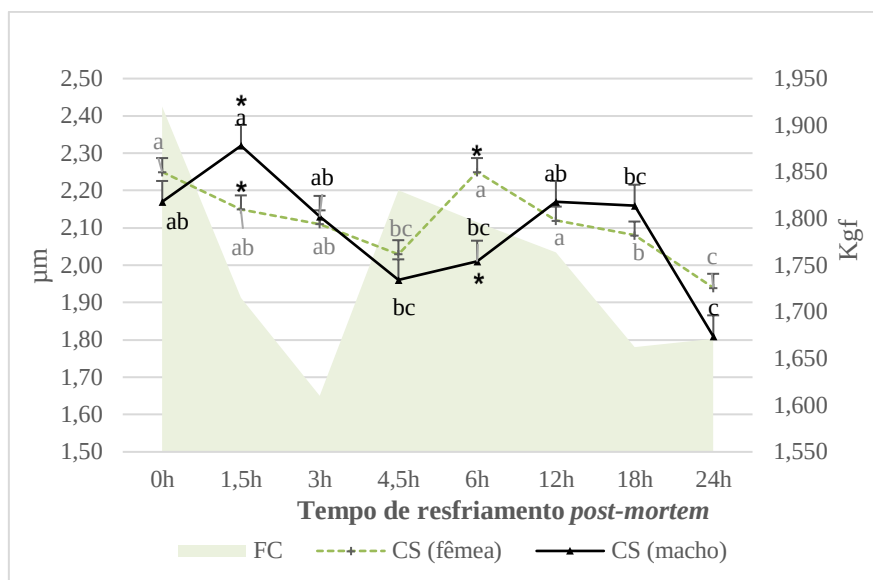


Figura 9. Força de cisalhamento (FC) (Kgf) e comprimento de sarcômero (μm) para machos e fêmeas (CS) no músculo *Biceps femoris* em função do tempo de resfriamento das carcaças de coelhos Botucatu; ^{a - c} Letras diferentes entre os tempos diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); * indica diferença significativa dentro do tempo ($p < 0,05$).

Concomitantemente ao primeiro declínio observado para a FC, que tem seu máximo às 3h de resfriamento, verifica-se uma primeira redução no CS, que avança até as 4,5h para as fêmeas e até as 6h de resfriamento para os machos, seguida por um aumento em seu comprimento que se estende por mais 6h, quando, por fim, verifica-se uma segunda redução no CS para ambos os sexos a partir das 18h de resfriamento, acompanhada pelo segundo declínio observado para a FC, que tem seu máximo também às 18h do armazenamento resfriado.

Os dois picos de FC, associados à oscilação observada no comprimento de sarcômero do BF, indicam claramente que o congelamento das carcaças quentes, sem o tratamento resfriado, induziu o processo conhecido como rigor de descongelamento ou *cold shortening*, assim como registrado para o músculo peitoral bovino no estudo de Lacourt e Charpentier (1971). O rigor de descongelamento é uma forma de *rigor mortis* que se desenvolve no momento em que o músculo congelado na fase pré-rigor é descongelado, com contração muscular atípica causada pela súbita liberação de íons Ca^{+2} pelo retículo sarcoplasmático no sarcoplasma (Aberle et al., 2001), além da grande quantidade de exsudato liberado e severo endurecimento da carne, provocado pela sobreposição dos miofilamentos

(Geesink et al., 1995).

O encurtamento do sarcômero a partir das 18h não favoreceu a dureza da carne, o que pode estar relacionado à elevação do IFM com o avanço do tempo de resfriamento, sobressaindo-se em relação à influência negativa da redução do CS sobre a maciez da carne, conforme discussão apresentada para LTL.

É também interessante observar que os valores para CS indicam seu estado no momento do congelamento, isso porque carnes congeladas no pré-rigor, apesar de apresentarem encurtamento de sarcômero ao descongelamento, podem, ainda, apresentar sucessivo relaxamento, até que o comprimento do sarcômero no pré-descongelamento seja novamente atingido (Bendall, 1960).

Conclusões

Baseando-se nas características de carcaça, nos parâmetros de cor, maciez e nas perdas de água livre observadas, recomenda-se que as carcaças de coelhos Botucatu não sejam imediatamente congeladas a -18°C após o abate, sem antes passar por um resfriamento de 18h a 4°C, de maneira a assegurar completo estabelecimento do rigor e sua resolução, conferindo à carne cunícula maior maciez, brilho e menos perdas durante todo o processo de refrigeração das carcaças.

Referências

- Aberle, E., Forrest, J. C., & Hedrick, H. (2001). *Principles of meat science* (4th ed.). Kendall/Hunt Publishing.
- Banerjee, R., & Maheswarappa, N. B. (2019). Superchilling of muscle foods: Potential alternative for chilling and freezing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(8), 1256–1263. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1401975>
- Bate-Smith, E. C., & Bendall, J. R. (1949). Factors determining the time course of *rigor mortis*. *The Journal of Physiology*, 110(1–2), 47–65. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1949.sp004420>
- Becker, B. R., & Fricke, B. A. (1999). Freezing times of regularly shaped food items. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 26(5), 617–626. [https://doi.org/10.1016/s0735-1933\(99\)00048-2](https://doi.org/10.1016/s0735-1933(99)00048-2)

- Bendall, J. R. (1960). Postmortem changes in muscle. In *Structure and function of muscle* (Bourne G.H. Ed), Academic Press, New York. pp 225-274.
- Bendall, J. R. (1973). The biochemistry of *rigor mortis* and cold-contraction. In *Proceedings of the 19th European meeting of meat 974 research workers*.
- Bendall, J. R., & Wismer-Pedersen, J. (1962). Some properties of the fibrillar proteins of normal and watery pork muscle. *Journal of Food Science*, 27(2), 144–159. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1962.tb00074.x>
- Bianospino, E., Wechsler, F. S., Fernandes, S., Roça, R. D. O., & Moura, A. S. A. M. T. (2006). Growth, carcass and meat quality traits of straightbred and crossbred Botucatu rabbits. *World Rabbit Science*, 237-246.
- Bianospino, E., Moura, A. S. A. M. T., Wechsler, F. S., Fernandes, S., & Dal-Pai-Silva, M. (2008). Age-related changes in muscle fiber type frequencies and cross-sectional areas in straightbred and crossbred rabbits. *Animal: An International Journal of Animal Bioscience*, 2(11), 1627–1632. <https://doi.org/10.1017/S1751731108002759>
- Birkhold, S. G., & Sams, A. R. (1993). Fragmentation, tenderness, and post-harvested broiler breast fillets from carcasses treated with electrical stimulation and muscle tensioning. *Poult. Sci*, 72, 577–582.
- Birkhold, S. G., & Sams, A. R. (1995). Comparative ultrastructure of Pectoralis fibers from electrically stimulated and muscle tensioned broiler carcasses. *Poult. Sci*, 74, 194–200.
- Blasco Mateu, A., Ouhayoun, J., & Masoero, G. (1993). Harmonization of criteria and terminology in rabbit meat research. *World Rabbit Science*, 1(1).
- Brasil. Decreto n. 9.013, de 29 de março de 2017. (2017). *Regulamenta a Lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei nº 7.889, de 23 de novembro de 1989, que dispõem sobre a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal*. Diário Oficial da União. Presidência da República. Secretaria-Geral. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, 3.
- Brasil. Decreto n. 10.469, de 18 de agosto de 2020. (2020). *Altera o Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017, que regulamenta a Lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei nº 7.889, de 23 de novembro de 1989, que dispõem sobre o regulamento da inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal*. Diário Oficial da União. Atos do Poder Executivo. Brasília, ed. 159, 5.
- Buijs, S., Vangeyte, J., & Tuytens, F. A. M. (2016). Effects of communal rearing and group size on breeding rabbits' post-grouping behaviour and its relation to ano-genital distance. *Applied Animal Behaviour Science*, 182, 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2016.06.005>

- Cano-Muñoz, G., & Muñoz, G. C. (1991). Manual on meat cold store operation and management. *Food & Agriculture Org*, 92.
- Carrillo-Lopez, L. M., Robledo, D., Martínez, V., Huerta-Jimenez, M., Titulaer, M., Alarcon-Rojo, A. D., Chavez-Martinez, A., Luna-Rodriguez, L., & Garcia-Flores, L. R. (2021). *Post-mortem* ultrasound and freezing of rabbit meat: Effects on the physicochemical quality and weight loss. *Ultrasonics Sonochemistry*, 79(105766), 105766. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105766>
- Cavani, C., & Petracci, M. (2004). Rabbit meat processing and traceability. In *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress* (pp. 1318–1336).
- Chwastowska-Siwiecka, J., Kondratowicz, J., Gugolek, A., & Matusevicius, P. (2013). Changes in the Physicochemical Properties of Deep-Frozen Rabbit Meat as Dependent on Thawing Method, *Vet. Vet. Zootech-Lith*, 62, 68–72.
- Claus, J. R., & Sørheim, O. (2006). Preserving pre-rigor meat functionality for beef patty production. *Meat Science*, 73(2), 287–294. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.12.004>
- CIE. Comission Internationale de L'eclairage. (1976) *Colorimetry - Part 4: L*a*b* Colour Space*. Vienna, Austria, 1976.
- Council Regulation (EC). No 1099/2009. *Council Regulation on the protection of animals at the time of killing*.
- Cross, H. R., West, R. L., & Dutson, T. R. (1981). Comparison of methods for measuring sarcomere length in beef semitendinosus muscle. *Meat Science*, 5(4), 261–266. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(81\)90016-4](https://doi.org/10.1016/0309-1740(81)90016-4)
- Culler, R. D., Jr, F. C. P., Smith, G. C., & Cross, H. R. (1978). Relationship of myofibril fragmentation index to certain chemical, physical and sensory characteristics of bovine longissimus muscle. *Journal of Food Science*, 43(4), 1177–1180. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1978.tb15263.x>
- Dalle Zotte, A. (2002). Perception of rabbit meat quality and major factors influencing the rabbit carcass and meat quality. *Livestock Production Science*, 75(1), 11–32. [https://doi.org/10.1016/s0301-6226\(01\)00308-6](https://doi.org/10.1016/s0301-6226(01)00308-6)
- Dalle Zotte, A., Cullere, M., Alberghini, L., Catellani, P., & Paci, G. (2016). Proximate composition, fatty acid profile, and heme iron and cholesterol content of rabbit meat as affected by sire breed, season, parity order, and gender in an organic production system. *Czech Journal of Animal Science*, 61(9), 383–390. <https://doi.org/10.17221/24/2016-cjas>
- Dalle Zotte, A., Ouhayoun, J., Bini, R. P., & Xiccato, G. (1996). Effect of age, diet and sex on muscle energy metabolism and on related physicochemical traits in the

- rabbit. *Meat Science*, 43(1), 15–24. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(95\)00066-6](https://doi.org/10.1016/0309-1740(95)00066-6)
- Daszkiewicz, T., & Gugolek, A. (2020). A comparison of the quality of meat from female and male Californian and Flemish Giant Gray rabbits. *Animals: An Open Access Journal from MDPI*, 10(12), 2216. <https://doi.org/10.3390/ani10122216>
- Daudin, J. D. (1986). Calculation of water activity on the surface of hot boned muscles during chilling. In: Recent advances and developments in the refrigeration of meat by chilling. *Proc. I. I. R. Bristol. Institute of Refrigeration*.
- Deatherage, F. E., & Harsham, A. (1947). Relation of tenderness of beef to aging time at 33-35°F. *Food Research*, 12.
- De Blas, C., & Wiseman, J. (2010). *Nutrition of the rabbit*.
- Ding, Z. J., Huang, F., Zhang, C. J., Zhang, L., Sun, H. X., & Zhang, H. (2018). Effect of heat shock protein 27 on the in vitro degradation of myofibrils by caspase-3 and μ -calpain. *International Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 121–128.
- Dransfield, E. (1996). Calpains from thaw rigor muscle. *Meat Science*, 43(3–4), 311–320. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(96\)00022-8](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(96)00022-8)
- FAO. (2020). *Faostat: FAO Statistical Databases*. Food & Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>
- Farouk, M. M., & Lovatt, S. J. (2000). Initial chilling rate of pre-rigor beef muscles as an indicator of colour of thawed meat. *Meat Science*, 56(2), 139–144. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(00\)00031-0](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(00)00031-0)
- Geesink, G., Sujang, S., & Koohmaraie, M. (2011). Tenderness of pre- and post rigor lamb longissimus muscle. *Meat Science*, 88(4), 723–726. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.03.003>
- Geesink, G. H., Koolmees, P. A., van Laack, H. L., & Smulders, F. J. (1995). Determinants of tenderisation in beef Longissimus dorsi and Triceps brachii muscles. *Meat Science*, 41(1), 7–17. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(94\)00066-G](https://doi.org/10.1016/0309-1740(94)00066-G)
- Girolami, L., Fontani, G., Lodi, L., & Lupo, C. (1996). Hippocampal cholineacetyltransferase activity, agonistic behaviour and social stress in male rabbits. *Behavioural Processes*, 36(1), 77–84. [https://doi.org/10.1016/0376-6357\(95\)00017-8](https://doi.org/10.1016/0376-6357(95)00017-8)

- Gornall, A. G., Bardawill, C. J., & David, M. M. (1949). Determination of serum proteins by means of the biuret reaction. *The Journal of Biological Chemistry*, 177(2), 751–766. [https://doi.org/10.1016/s0021-9258\(18\)57021-6](https://doi.org/10.1016/s0021-9258(18)57021-6)
- Greaser, M. L. (1986). Conversion of muscle to meat. In *Muscle As Food* (pp. 37–102). Elsevier.
- Greer, G. G., & Jones, S. (1997). Quality and bacteriological consequences of beef carcass spraychilling: effects of spray duration and boxed beef storage temperature. *Meat Sci*, 47(1), 61–73.
- Hamm, R. (1960). Biochemistry of meat hydration. *Advances in Food Research*, 2, 335–443.
- Hendrick, H. B., Aberle, E. D., & Forrest, J. C. (1989). *Principles of Meat Science*. Kendall/Hunt Publishing Co.
- Hernández, P., Pla, M., & Blasco, A. (1998). Carcass characteristics and meat quality of rabbit lines selected for different objectives: II. Relationships between meat characteristics. *Livestock Production Science*, 54(2), 125–131.
- Hite, L. M. (2021). *Impact of Carcass Chilling System on Carcass Characteristics and Biochemical Changes in Beef Carcasses*. South Dakota State University.
- Honikel, K. O. (1987). The water binding of meat. *Fleisch Wirttsch*, 67, 1098–1102.
- Honikel, K. O. (1991). Assessment of meat quality. In *Animal Biotechnology and the Quality of Meat Production* (pp. 107–125). Elsevier.
- Hopkins, D. L., Toohey, E. S., Lamb, T. A., Kerr, M. J., van de Ven, R., & Refshauge, G. (2011). Explaining the variation in the shear force of lamb meat using sarcomere length, the rate of rigor onset and pH. *Meat Science*, 88(4), 794–796. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.03.004>
- Hopkins, D. L., Littlefield, P. J., & Thompson, J. M. (2000). A research note on factors affecting the determination of myofibrillar fragmentation. *Meat Science*, 56(1), 19–22. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(00\)00012-7](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(00)00012-7)
- Huff-Lonergan, E., & Lonergan, S. M. (2005). Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Science*, 71(1), 194–204. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.04.022>
- Hulot, F., & Ouhayoun, J. (1999). Muscular pH and related traits in rabbits: a review. *World Rabbit Science*, 7(1). <https://doi.org/10.4995/wrs.1999.378>
- Ikeuchi, Y., Ito, T., & Fukazawa, T. (1980). Change in the properties of myofibrillar proteins during *post-mortem* storage of muscle at high temperature. *Journal of*

Agricultural and Food Chemistry, 28(6), 1197–1202.
<https://doi.org/10.1021/jf60232a063>

- Jalang'o, J. W., Saul, G. L., & Lawrie, R. A. (1987). Observations on muscle press juice from bovine, ovine and porcine muscles. *Meat Science*, 21(1), 73–76.
[https://doi.org/10.1016/0309-1740\(87\)90043-X](https://doi.org/10.1016/0309-1740(87)90043-X)
- James, S. (1996). The chill chain “from carcass to consumer.” *Meat Science*, 43, 203–216. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(96\)00066-6](https://doi.org/10.1016/0309-1740(96)00066-6)
- Jolley, P. D., Lopes, R. L. T., Dransfield, E., & Perry, G. (2007). Rabbit meat for manufacturing. The effect of different post-slaughter cooling treatments. *International Journal of Food Science & Technology*, 18(4), 481–493. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1983.tb00290.x>
- Jones, S. D., & Robertson, W. M. (1988). The effects of spray-chilling carcasses on the shrinkage and quality of beef. *Meat Science*, 24(3), 177–188.
[https://doi.org/10.1016/0309-1740\(88\)90076-9](https://doi.org/10.1016/0309-1740(88)90076-9)
- Kemp, C. M., Sensky, P. L., Bardsley, R. G., Buttery, P. J., & Parr, T. (2010). Tenderness - an enzymatic view. *Meat Science*, 84(2), 248–256.
- Kinsella, K. J., Sheridan, J. J., Rowe, T. A., Butler, F., Delgado, A., Quispe-Ramirez, A., Blair, I. S., & McDowell, D. A. (2006). Impact of a novel spray-chilling system on surface microflora, water activity and weight loss during beef carcass chilling. *Food Microbiology*, 23(5), 483–490.
<https://doi.org/10.1016/j.fm.2005.05.013>
- Kim, H. W., Lee, S. H., Choi, J. H., Choi, Y. S., Kim, H. Y., Hwang, K. E., Park, J. H., Song, D. H., & Kim, C. J. (2012). Effects of rigor state, thawing temperature, and processing 48 on the physicochemical properties of frozen duck breast muscle. *Poultry Science*, 10, 2662–2667.
- Krunt, O., Zita, L., Kraus, A., Bureš, D., Needham, T., & Volek, Z. (2022). The effect of housing system on rabbit growth performance, carcass traits, and meat quality characteristics of different muscles. *Meat Science*, 193(108953), 108953. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108953>
- Lacourt A., Charpentier J. (1971). Influence du régime thermique lors de la congélation du tissu musculaire ante *rigor mortis* sur la contraction à la décongélation. *Rev. Gen. Foid.* 62, 1031-1037.
- Lan, Y., Shang, Y., Song, Y., & Dong, Q. (2016). Changes in the quality of superchilled rabbit meat stored at different temperatures. *Meat Science*, 117, 173–181. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.02.017>

- Lawrie, R. A. (2007). 'Thaw-rigor' and 'cold-shortening' in rabbit muscle. *International Journal of Food Science & Technology*, 3(3), 203–205. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1968.tb01457.x>
- Lebert, I., Baucour, P., Lebert, A., & Daudin, J.-D. (2005). Assessment of bacterial growth on the surface of meat under common processing conditions by combining biological and physical models. *Journal of Food Engineering*, 68(1), 89–98. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.026>
- Lefaucheur, L. (2010). A second look into fibre typing-Relation to meat quality. *Meat Sci*, 84, 257–270.
- Leygonie, C., Britz, T. J., & Hoffman, L. C. (2012). Impact of freezing and thawing on the quality of meat: review. *Meat Science*, 91(2), 93–98. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.01.013>
- Li, G., Li, Z., Li, X., Wang, Y., Zhu, J., & Zhang, D. (2019). Postmortem ageing influences the thawed meat quality of frozen lamb loins. *Food Chemistry*, 275, 105–112. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.095>
- Lopes, L. S., Ladeira, M. M., Machado Neto, O. R., Paulino, P. V. R., Chizzotti, M. L., Ramos, E. M., & Oliveira, D. M. de. (2012). Características de carcaça e cortes comerciais de tourinhos Red Norte e Nelore terminados em confinamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41(4), 970–977. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982012000400020>
- Luzi, F., Lazzaroni, C., Barbieri, S., Pianetta, M., Cavani, C., & Crimella, C. (2000). Influence of type of rearing, slaughter age and sex on fattening rabbit: I. Productive performance. *World Rabbit Science Congress*, 7, 613–619.
- Lyon, C. E., Lyon, B. G., & Dickens, J. A. (1998). Effects of carcass stimulation, deboning time, and marination on color and texture of broiler breast meat. *The Journal of Applied Poultry Research*, 7(1), 53–60. <https://doi.org/10.1093/japr/7.1.53>
- Matarneh, S. K., England, E. M., Scheffler, T. L., & Gerrard, D. E. (2017). The Conversion of Muscle to Meat. In *Lawrie's Meat Science* (pp. 159–185). Elsevier.
- Medellin-Lopez, M., Sansawat, T., Strasburg, G., Marks, B. P., & Kang, I. (2014). Cold-batter mincing of hot-boned and crust-freezing air-chilled turkey breast improved meat turnover time and product quality. *Poultry Science*, 93(3), 711–718. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03531>
- Moura, A., Polastre, S. A. M. T., & Wechsler, R. (2000). Dam and Litter Inbreeding and Environmental Effects on Litter Performance in Botucatu Rabbits. *World Rabbit Science*, 151–157.

- Moura, A., & Costa, S. A. M. T. (2001). Variance Componentes and Response to Selection for Reproductive, Litter and Growth Traits through a Multi-Purpose Index. *World Rabbit Science*, 77–86.
- Ouhayoun, J. (1989). La composition corporelle du lapin: facteurs de variation. *INRA Productions Animales*, 215–226.
- Ouhayoun J., & Dalle Zotte A. (1996). Harmonization of muscle and meat criteria in rabbit meat research. *World Rabbit Science*, 4(4). <https://doi.org/10.4995/wrs.1996.297>
- Page, J. K., Wulf, D. M., & Schwotzer, T. R. (2001). A survey of beef muscle color and pH. *Journal of animal science*, 79(3), 678-687.
- Peiretti, P. G., Gai, F., Rotolo, L., Brugiapaglia, A., & Gasco, L. (2013). Effects of tomato pomace supplementation on carcass characteristics and meat quality of fattening rabbits. *Meat Science*, 95(2), 345–351.
- Pla, M., & Dalle Zotte, A. (2000). Harmonisation of criteria and methods used in rabbit meat research. *World Rabbit Science*, 8, 539–545.
- Ramanathan, R., & Mancini, R. A. (2018). Role of mitochondria in beef color: A review. *Meat and Muscle Biology*, 2(1), 309. <https://doi.org/10.22175/mmb2018.05.0013>
- Ramos, E. M., & Gomide, L. A. (2017). *Avaliação da qualidade de carnes: fundamentos e metodologias*. Viçosa: Editora UFV.
- Sams, A. R. (1999). Meat quality during processing. *Poultry Science*, 78(5), 798–803. <https://doi.org/10.1093/ps/78.5.798>
- Sanfelice, C., Mendes, A. A., Komiyama, C. M., Cañizares, M. C., Rodrigues, L., & Cañizares, G. I. L. (2010). Avaliação do efeito do tempo de desossa sobre a qualidade da carne de peito de matrizes pesadas de descarte. *Acta Scientiarum: Animal Sciences*, 77–84.
- Savell, J. W., Mueller, S. L., & Baird, B. E. (2005). The chilling of carcasses. *Meat Science*, 70(3), 449–459. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.06.027>
- Schleip, R., Jäger, H., & Klingler, W. (2012). What is “fascia”? A review of different nomenclatures. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 16(4), 496–502. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2012.08.001>
- Shenouda, S. Y. K. (1980). Theories of protein denaturation during frozen storage of fish flesh. *Advances Food Research*, 26(1), 275–311.
- Shija, D. S., Mtenga, L. A., Kimambo, A. E., Laswai, G. H., Mushi, D. E., Mgheni, D. M., Mwilawa, A. J., Shirima, E. J. M., & Safari, J. G. (2013). Chemical

- composition and meat quality attributes of indigenous sheep and goats from traditional production system in Tanzania. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 26(2), 295–302. <https://doi.org/10.5713/ajas.2012.1243>
- Składanowska-Baryza, J., & Stanisław, M. (2019). Pre-slaughter handling implications on rabbit carcass and meat quality-A review. *Ann. Anim. Sci*, 19, 875–885.
- Sukumaran, A. T., Holtcamp, A. J., Englishbey, A. K., Campbell, Y. L., Kim, T., Schilling, W., & Dinh, T. T. N. (2018). *Effect of deboning time on the growth of Salmonella, E. 674 coli, aerobic, and lactic acid bacteria during beef sausage processing and storage*.
- Taylor, R. G., Geesink, G. H., Thompson, V. F., Koohmaraie, M., & Goll, D. E. (1995). Is Z-disk degradation responsible for postmortem tenderization? *Journal of Animal Science*, 73(5), 1351–1367. <https://doi.org/10.2527/1995.7351351x>
- Tomović, V. M., Petrović, L. S., & Džinić, N. R. (2008). Effects of rapid chilling of carcasses and time of deboning on weight loss and technological quality of pork semimembranosus muscle. *Meat Science*, 80(4), 1188–1193. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.013>
- Vyncke, W. (1970). Direct determination of the thiobarbituric acid value in trichloroacetic acid extracts of fish as a measure of oxidative rancidity. *Fette, Seifen, Anstrichmittel*, 72(12), 1084–1087. <https://doi.org/10.1002/lipi.19700721218>
- Wang, Z., He, Z., Gan, X., & Li, H. (2018). Interrelationship among ferrous myoglobin, lipid and protein oxidations in rabbit meat during refrigerated and superchilled storage. *Meat Science*, 146, 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.08.006>
- Warriss, P. D., & Brown, S. N. (1987). The relationships between initial pH, reflectance and exudation in pig muscle. *Meat Science*, 20(1), 65–74. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(87\)90051-9](https://doi.org/10.1016/0309-1740(87)90051-9)
- Wheeler, T. L., & Koohmaraie, M. (1994). Prerigor and postrigor changes in tenderness of ovine longissimus muscle2. *Journal of Animal Science*, 72(5), 1232–1238. <https://doi.org/10.2527/1994.7251232x>
- Xia, X., Kong, B., Liu, Q., & Liu, J. (2009). Physicochemical change and protein oxidation in porcine longissimus dorsi as influenced by different freeze-thaw cycles. *Meat Science*, 83(2), 239–245. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.05.003>
- Xiao, X., Hou, C., Zhang, D., Li, X., Ren, C., Ijaz, M., Hussain, Z., & Liu, D. (2020). Effect of pre- and post-rigor on texture, flavor, heterocyclic aromatic amines

and sensory evaluation of roasted lamb. *Meat Science*, 169(108220), 108220.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108220>

- Yan, T., Hou, C., Wang, Z., Li, X., Chen, L., Liang, C., Xu, Y., & Zhang, D. (2022). Effects of chilling rate on progression of *rigor mortis* in postmortem lamb meat. *Food Chemistry*, 373(Pt B), 131463.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131463>
- Yu, L. H., Lee, E. S., Jeong, J. Y., Paik, H. D., Choi, J. H., & Kim, C. J. (2005). Effects of thawing temperature on the physicochemical properties of pre-rigor frozen chicken breast and leg muscles. *Meat Science*, 71(2), 375–382.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.04.020>

CAPÍTULO 4 – Influência do congelamento prolongado de carcaças nos estágios pré e pós *rigor mortis* sobre os parâmetros tecnológicos e nutricionais do músculo *longissimus lumborum* de coelhos Botucatu⁴

Resumo

Objetivou-se avaliar a influência do armazenamento prolongado das carcaças sobre a qualidade da carne de coelhos Botucatu congelada nos estágios pré e pós-rigor. A estabilidade dos parâmetros tecnológicos e da composição química do LL foi analisada ao longo de 12 meses. No estágio pós-rigor, a superfície dorsal do LL apresentou maior ($p<0,05$) intensidade de vermelho e saturação, enquanto a superfície ventral apresentou maior ($p<0,05$) intensidade de amarelo em relação ao LL no pré-rigor. Luminosidade, intensidade de vermelho e saturação diminuíram ($p<0,05$) e intensidade de amarelo aumentou ($p<0,05$) com o armazenamento. Nos primeiros seis meses, a carne congelada em pré-rigor apresentou pH mais elevado ($p<0,05$) em relação àquela congelada no pós-rigor. A partir dos seis meses, perda de peso por cocção foi mais intensa ($p<0,05$) em todas as amostras. Carnes *in natura* apresentaram maior ($p<0,05$) força de cisalhamento no pós-rigor. Comprimento de sarcômero, oxidação lipídica, índice de fragmentação miofibrilar, energia bruta e teores de proteína, gordura e carboidrato aumentaram com o tempo de armazenamento, enquanto força de cisalhamento, percentual de minerais e umidade reduziram ($p<0,05$). A carne de coelhos Botucatu no pré-rigor é mais macia e úmida, menos ácida e vermelha que no pós-rigor. O armazenamento prolongado favorece o amaciamento do LL, independentemente do estágio do rigor ao congelamento, preservando sua qualidade física, química e nutricional, salvo sutis alterações na cor e composição química.

Palavras-chave: carne de coelho, ciência da carne, cunicultura, maciez da carne, *Oryctolagus cuniculus*, qualidade da carne

⁴ Este capítulo corresponde ao artigo científico submetido à revista Meat Science e encontra-se em avaliação para publicação.

Introdução

A indústria cunícula tem buscado maior tecnificação e padronização de seus processos relacionados à cadeia do frio, a fim de oferecer ao consumidor um produto com elevada qualidade e se tornar cada vez mais competitiva no mercado global da carne, com foco na produção e comercialização de carcaças inteiras e cortes congelados.

O emprego do congelamento assegura a manutenção da qualidade dos produtos cárneos por longos períodos de armazenamento, uma vez que o frio preserva as estruturas dos tecidos musculares e retarda as reações bioquímicas responsáveis pela deterioração do alimento, ainda que cause mínimas alterações em suas características físico-químicas como redução da capacidade de retenção de água e aumento na taxa de oxidação lipídica, quando comparada à carne *in natura* (Dalle Zotte, 2002). O próprio Departamento de Agricultura dos EUA (USDA, 2015) recomenda que a carcaça de coelho pode ser congelada por até 12 meses sem prejuízos à sua qualidade.

No entanto, com a justificativa de reduzir os gastos com eletricidade, mão de obra e as perdas por resfriamento e gotejamento advindos do funcionamento prolongado das câmaras frias (Claussen et al., 2017; Sukumaran et al., 2018), muitos abatedouros cunículas em diversos países latino americanos como o Brasil têm priorizado a comercialização de carcaças congeladas sem seu prévio resfriamento, onde carcaças quentes são imediatamente armazenadas em túneis de congelamento rápido sob temperaturas inferiores a -18°C , antes de instaurado o processo de *rigor mortis*, o que acarretaria em carne mais dura devido ao processo conhecido como rigor de descongelamento (Cabanés et al., 1996; Dalle Zotte & Ouhayoun, 1998; Lawrie, 2007). Por outro lado, o elevado pH das carcaças em estágio pré-rigor poderia conferir maior capacidade de retenção de água e menor perda de peso por cocção à carne cunícula, parâmetros considerados de grande importância para o processamento da carne crua, tal qual observado em algumas espécies domésticas (Claus & Sørheim, 2006; Cheng & Sun, 2008; Medellín-Lopez et al., 2014; Xiao et al., 2020).

Ainda que a comparação entre a qualidade da carne nos períodos pré e pós

rigor já tenha sido objeto de estudos para outras espécies, como suínos (Claussen et al., 2017), frangos (Yu et al., 2005), perus (Medellin-Lopez et al., 2014), cordeiros (Xiao et al., 2020) e bovinos (Sukumaran et al., 2018), pouco se sabe sobre a qualidade da carne cunícula no pré-rigor, sobretudo quando armazenada a longo termo.

Além disso, países asiáticos como a China, o maior produtor mundial da carne de coelho, com produção anual de 456.552 ton (FAOSTAT, 2020), representam um importante nicho de mercado a ser explorado, uma vez que a carne em estágio pré-rigor é bastante apreciada pela população e faz parte dos hábitos de consumo local, sendo assim comercializada por décadas (Gong et al., 2011; Wang et al., 2019).

Diante desse cenário, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito do armazenamento prolongado sobre as perdas em qualidade tecnológica e nutricional da carne de coelho congelada antes e após o estabelecimento do *rigor mortis*, por meio da avaliação das alterações nos parâmetros físico-químicos e da composição química do músculo *longissimus lumborum* por até 12 meses de armazenamento sob congelamento.

Material e Métodos

Animais, abate e carcaças

Foram utilizadas um total de 60 carcaças inteiras provenientes de coelhos machos da Linhagem Botucatu (Moura et al., 2000, 2001) desmamados aos 35 dias de idade, criados em gaiolas *flat-deck* no Setor de Cunicultura da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista (FCAV/UNESP), Campus de Jaboticabal, SP, Brasil (21°14'S, 48° 17'W, 583 m altitude) sob as mesmas condições de ambiência, manejo alimentar e sanitário, e abatidos aos 90 dias de idade mediante aprovação da Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da referida Instituição (protocolo n. 1924/22). Os coelhos foram submetidos a jejum de 12h e descanso pré-abate de 4h (Cavani & Petracci, 2004). Todo o processo de abate atendeu às exigências operacionais do Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal – RIISPOA (Brasil, 2017, 2020) e ao

Regulamento (CE) Nº 1099/2009 (Council Regulation, 2009).

Após a evisceração, um grupo composto por 30 carcaças quentes foi armazenado em câmara climática sob temperatura de $2^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas, a fim de garantir o completo estabelecimento e resolução do processo de *rigor mortis*. Uma vez resfriadas, 20 carcaças frias em estágio pós-rigor foram armazenadas em túnel de congelamento rápido, sob temperatura de $-20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, enquanto as 10 carcaças frias restantes, também em estágio pós-rigor, foram separadas e enviadas sob refrigeração ($\pm 4^{\circ}\text{C}$) para o Laboratório de Análise de Alimentos (LaOra) da FCAV/UNESP para proceder com as análises físico-químicas. Um segundo grupo de carcaças quentes ($n=30$) não foi submetido ao processo de resfriamento após serem evisceradas, onde 20 carcaças quentes em estágio pré-rigor foram imediatamente congeladas a $-20 \pm 2^{\circ}\text{C}$, enquanto as 10 carcaças quentes restantes foram sequencialmente submetidas às respectivas análises laboratoriais ainda em estágio pré-rigor.

As carcaças congeladas de ambos os grupos (pré e pós rigor) foram acondicionadas em sacos plásticos de polietileno a vácuo e armazenadas por até 12 meses em freezer a $-20^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ para serem descongeladas ao fim de cada tempo pré-estabelecido para análise (6 e 12 meses). Dessa forma, as carcaças foram aleatoriamente escolhidas para compor os seis seguintes tratamentos (10 repetições/tratamento), baseados no processo de refrigeração adotado:

SR0: carne pré-rigor sem congelamento (início)

SR6: carne pré-rigor congelada por 6 meses

SR12: carne pré-rigor congelada por 12 meses

CR0: carne pós-rigor sem congelamento (início)

CR6: carne pós rigor congelada por 6 meses

CR12: carne pós-rigor congelada por 12 meses

*em que SR= sem resfriamento e CR= com resfriamento, durante 24h.

Ao final de cada tempo considerado, o músculo *longissimus lumborum* foi excisado dos lados direito e esquerdo das carcaças para serem avaliadas suas propriedades físico-químicas.

Análises dos parâmetros tecnológicos

Cor

Foi determinada com o auxílio do colorímetro Minolta CR-400 (Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japan) (configurações: diffuse lighting/0 viewing angle, D65 illuminant, specular component included), por meio do sistema CIELAB (L, a* e b*) (CIE, 1986). Foram avaliados a luminosidade (L*), a intensidade de vermelho (a*) e a intensidade de amarelo (b*) em toda a extensão do músculo *longissimus lumborum* (LL) excisado do lado esquerdo da carcaça. A coloração foi determinada em triplicata, logo após 30 minutos de exposição ao ar, nas superfícies dorsal e ventral do músculo. Posteriormente, foi calculado o índice de saturação (Chroma – C*) da seguinte forma, conforme demonstrado por Ramos e Gomide (2007): $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$

pH

O pH foi determinado em triplicata, utilizando-se um peagâmetro digital (Testo 205, Testo Inc., Sparta, NJ, USA) acoplado a um eletrodo de penetração, por meio de sua inserção no músculo *longissimus lumborum* (LL), na altura da 5ª vértebra lombar do lado direito da carcaça (Pla & Dalle Zotte, 2000).

Capacidade de retenção de água (CRA)

Foi determinada em triplicata segundo a metodologia descrita por Hamm (1960). Foram utilizados 2 g de amostra da porção caudal do LL excisado do lado esquerdo das carcaças, postos entre dois papéis filtro e placas de acrílico, e submetidos à pressão exercida por um peso de 10 kg durante cinco minutos. Posteriormente, as amostras foram novamente pesadas para determinação da CRA, expressa em porcentagem.

Perda de peso por cozimento (PPC)

Foi determinada a partir da coleta de amostras na porção caudal do LL, do lado esquerdo das carcaças, utilizando-se da metodologia descrita por Honikel (1987). Amostras de tamanho e peso aproximados foram pesadas, embaladas e cozidas em banho-maria (85°C) durante 40 minutos. Após o resfriamento em temperatura ambiente, foram novamente pesadas para determinação da PPC, expressa em porcentagem.

Força de cisalhamento (FC)

Foram utilizadas amostras cozidas provenientes da análise de PPC, as quais foram cortadas em secções de aproximadamente 1cm², posicionadas com as fibras orientadas no sentido perpendicular ao dispositivo *Warner-Bratzler* (acoplado ao texturômetro *Texture Analyser TA-XT2i*) e submetidas ao corte em triplicata. A força necessária para cisalhar as amostras foi expressa em Newton, segundo método descrito por Lyon et al. (1998).

Índice de Fragmentação Miofibrilar (IFM)

O IFM foi determinado em triplicata pela metodologia proposta por Culler et al. (1978) e complementada com o uso da técnica de biureto (Gornall et al., 1949) utilizada para determinar a concentração de proteínas na suspensão de miofibrilas originada das amostras coletadas por raspagem na porção cranial do LL excisado do lado direito da carcaça, por meio da fórmula $IFM = \text{densidade óptica} \times 200$.

Comprimento de sarcômero

O comprimento de sarcômero foi determinado pelo método que utiliza microscopia de contraste de fases (Cross et al., 1981). Foram homogeneizados 0,5 g de sub amostras coletadas na porção cranial do LL excisado do lado direito da carcaça, em Ultra-Turrax (Marconi MA102, Marconi Equipamentos Para Laboratórios Ltda., Piracicaba, São Paulo, Brasil) com 30 mL de solução mista de cloreto de

potássio 0,08 mol/L e iodeto de potássio 0,08 mol/L, a uma velocidade de 15000 rpm, por 30 segundos, para romper as células e facilitar a remoção das miofibrilas para suspensão.

Uma gota do homogenato foi transferida para lâmina e coberta por uma lamínula. Foram confeccionadas lâminas individuais para cada animal abatido, sendo realizadas no mínimo 12 leituras/lâmina por meio do contraste de fases em microscópio óptico (Novel BM2100, Nanjing Jlangnan Novel Optics., Ltd., China, República Popular), com ampliação de 1000x (objetiva 100x, ocular 10x) e imersão em óleo sobre a lamínula. O comprimento do sarcômero foi expresso em μm .

Oxidação lipídica

Foram coletados 5 g de amostras moídas na porção cranial do LL excisado do lado direito da carcaça para proceder a extração com ácido tricloroacético, determinada em triplicata pelo teste de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), segundo metodologia descrita por Vyncke et al. (1970). A partir da coloração com ácido tiobarbitúrico, foi feita leitura no comprimento de onda 532 nm, com resultado expresso em mg de malonaldeído (MDA)/kg de amostra.

Análises dos parâmetros nutricionais

Composição química e proteína solúvel

Amostras do LL foram excisadas do lado direito da carcaça e liofilizadas por 72h (Super Modulyo 220, Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA) para que fossem determinados os percentuais de umidade (método 950.46), proteína (método 977.14) e matéria mineral (método 920.153) segundo os métodos preconizados pela Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2011), assim como os teores de lipídios totais (Bligh & Dyer, 1959) e de carboidrato (Jurgens & Bregendahl, 2007). A partir da composição química, a energia bruta foi determinada de acordo com Merrill & Watt (1955). O líquido exsudado das carcaças foi também coletado após 24h de descongelamento ao final de cada período de armazenamento para determinação da

proteína solúvel conforme o método descrito por Hartree (1972).

Colesterol

Foi quantificado por meio da técnica a frio proposta por Folch et al. (1957), adaptada por Saldanha et al. (2004) e, posteriormente, por Oliveira et al. (2021). Foram pesados 0,5 g de amostra de LL excisada do lado direito da carcaça e liofilizada em tubo falcon de 50 mL, onde foram adicionados 6 mL de etanol e 4 mL de KOH 50%. Os tubos foram mantidos em banho-maria com agitação a 40°C até que as amostras estivessem completamente dissolvidas, quando foram, então, mantidas a 60°C por mais 10 min. Foram adicionados 10 mL de N-hexano e parte da solução foi removida para proceder com a separação das fases, sendo esta etapa repetida três vezes. Alíquotas de 3 ml foram pipetadas da fase superior para tubos de ensaio, quando foram secas com o auxílio do gás de nitrogênio. Após a secagem, 0,5 mL de álcool isopropílico foi adicionado em cada tubo. Os tubos foram agitados em vórtex e 3 mL de reagente enzimático (Colesterol Liquiform - 76-2/100, LabTest) foram adicionados. Em seguida, a solução foi mantida em banho-maria a 37°C por mais 10 min. Após esse período, foi realizada a leitura das amostras em espectrofotômetro (Shimadzu UV-1800, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japão) com λ igual a 500 nm, para determinação da concentração de colesterol nas amostras.

Análise estatística

Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado distribuído em esquema fatorial 2 x 3 (fase do *rigor mortis* vs tempo de congelamento das carcaças) com 10 repetições. Os resultados foram analisados por meio do Proc GLM do programa estatístico SAS (SAS Institute Inc, 2002 – 2003, Cary, NC, USA). Os dados foram testados pela análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste Tukey, com nível de significância definido a 5%.

Resultados

Os parâmetros relacionados à cor da carne de coelhos Botucatu foram influenciados significativamente pela fase do *rigor mortis* e pelo tempo de congelamento das carcaças. Na superfície dorsal do LL, maior ($p = 0,0345$) intensidade de vermelho e maior ($p = 0,0241$) índice de saturação foram registrados para as carnes congeladas no pós-rigor (Tabela 1).

Tabela 1. Médias ($\pm$ EPM) dos valores de luminosidade (L^*), intensidade de vermelho (a^*), intensidade de amarelo (b^*) e índice de saturação chroma (C^*) na superfície dorsal do músculo *longissimus lumborum* de coelhos Botucatu em função da fase do *rigor mortis* e do tempo de congelamento das carcaças.

Superfície dorsal				
	L^*	a^*	b^*	C^*
<i>Fase do rigor mortis (FR)</i>				
Pré-rigor	$51,30 \pm 0,43$	$6,78 \pm 0,17^B$	$1,68 \pm 0,13$	$6,99 \pm 0,34^B$
Pós-rigor	$56,12 \pm 0,35$	$7,07 \pm 0,03^A$	$1,46 \pm 0,12$	$7,22 \pm 0,85^A$
<i>Tempo de congelamento das carcaças (TC)</i>				
0 meses (início)	$52,61 \pm 0,32$	$7,25 \pm 0,31^A$	$0,40 \pm 0,15^B$	$7,26 \pm 0,80^A$
6 meses	$56,66 \pm 0,14$	$6,42 \pm 0,32^B$	$1,80 \pm 0,17^{AB}$	$6,67 \pm 0,14^{AB}$
12 meses	$51,86 \pm 0,31$	$6,35 \pm 0,54^B$	$2,51 \pm 0,23^A$	$6,83 \pm 0,21^B$
<i>P – valor</i>				
P (FR)	$< 0,0001$	0,0345	0,5421	0,0241
P (TC)	$< 0,0002$	$< 0,0001$	0,0140	$< 0,0001$
P (FR x TC)	$< 0,0001$	0,5721	0,3115	0,1305
CV (%)	5,64	20,18	11,98	5,61

^{A - B} Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); EPM: erro padrão da média.

Já na superfície ventral, a intensidade de amarelo (b^*) foi maior ($p < 0,0001$) no LL de carcaças congeladas na fase pós-rigor, enquanto o índice de saturação seguiu tendência contrária à superfície dorsal, com maiores ($p = 0,0229$) valores registrados para as carcaças congeladas no pré-rigor, como pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2. Médias ($\pm$ EPM) dos valores de luminosidade (L^*), intensidade de vermelho (a^*), intensidade de amarelo (b^*) e índice de saturação chroma (C^*) na superfície ventral do músculo *longissimus lumborum* de coelhos Botucatu em função em função da fase do *rigor mortis* e do tempo de congelamento das carcaças.

Superfície ventral				
	L^*	a^*	b^*	C^*
<i>Fase do rigor mortis (FR)</i>				
Pré-rigor	51,97 $\pm$ 0,43	7,03 $\pm$ 0,03	0,76 $\pm$ 0,13 ^B	7,07 $\pm$ 0,21 ^A
Pós-rigor	55,37 $\pm$ 0,35	6,93 $\pm$ 0,17	1,93 $\pm$ 0,12 ^A	6,81 $\pm$ 0,32 ^B
<i>Tempo de congelamento das carcaças (TC)</i>				
0 meses (início)	53,14 $\pm$ 0,32	7,92 $\pm$ 0,32 ^A	0,43 $\pm$ 0,15 ^C	7,94 $\pm$ 0,46 ^A
6 meses	56,86 $\pm$ 0,14	6,35 $\pm$ 0,54 ^B	1,15 $\pm$ 0,23 ^B	6,45 $\pm$ 0,28 ^B
12 meses	51,02 $\pm$ 0,31	6,05 $\pm$ 0,31 ^B	2,46 $\pm$ 0,17 ^A	6,53 $\pm$ 0,50 ^B
<i>P – valor</i>				
P (FR)	< 0,0001	0,4481	< 0,0001	0,0229
P (TC)	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
P (FR x TC)	< 0,0001	0,0620	0,1292	0,0981
CV (%)	6,76	24,47	13,39	0,14

^{A - B} Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); EPM: erro padrão da média.

Tanto a superfície dorsal, quanto a ventral, do LL apresentaram maior ($p < 0,05$) intensidade de amarelo (b^*) e menor intensidade de vermelho (a^*) e índice de saturação (C^*) à medida que o tempo de armazenamento avançou (Tabelas 1 e 2).

Foi também verificada interação significativa entre a fase do *rigor mortis* e o tempo de congelamento das carcaças para a luminosidade (L^*) nas superfícies dorsal e ventral do LL, conforme desdobramento apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Desdobramento ($\pm$ EPM) da interação entre a fase do *rigor mortis* e o tempo de congelamento das carcaças para a luminosidade (L^*) das superfícies dorsal e ventral do músculo *longissimus lumborum* em coelhos Botucatu.

Fase do <i>rigor mortis</i>	Tempo de congelamento das carcaças		
	0 meses (início)	6 meses	12 meses
<i>L* dorsal</i>			
Pré-rigor	52,06 $\pm$ 0,54 ^{Aa}	51,21 $\pm$ 0,61 ^{Bab}	50,62 $\pm$ 0,14 ^{Bb}
Pós-rigor	53,14 $\pm$ 0,32 ^{Ab}	62,12 $\pm$ 0,52 ^{Aa}	53,11 $\pm$ 0,33 ^{Ab}
<i>L* ventral</i>			
Pré-rigor	53,12 $\pm$ 0,47 ^{Aa}	52,83 $\pm$ 0,35 ^{Bab}	49,95 $\pm$ 0,99 ^{Bb}
Pós-rigor	53,14 $\pm$ 0,66 ^{Aab}	60,90 $\pm$ 0,24 ^{Aa}	52,09 $\pm$ 0,44 ^{Ab}

Médias seguidas por letras distintas nas colunas (maiúsculas) e nas linhas (minúsculas) diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); EPM: erro padrão da média.

Ambas as superfícies do LL apresentaram menor luminosidade com o avanço do tempo, com menores valores registrados aos 12 meses de congelamento, seja para a carne em estágio pré ou pós rigor. Esses resultados para cor podem ser consequência, entre outros fatores, da oscilação nos valores significativos registrados para o pH durante o armazenamento prolongado, como pode ser verificado na Tabela 4. Essa variação no pH parece também ter influenciado a PPC, que se mostrou mais intensa ($p < 0,0001$) aos 6 meses de congelamento, mas não a CRA, que não apresentou diferença estatística em seus resultados.

Tabela 4. Médias ($\pm$ EPM) dos valores de pH, perda de peso por cocção (PPC) e capacidade de retenção de água (CRA) do músculo *longissimus lumborum* de coelhos Botucatu em função da fase do *rigor mortis* e do tempo de congelamento das carcaças.

	pH	PPC (%)	CRA (%)
<i>Fase do rigor mortis (FR)</i>			
Pré-rigor	6,14 $\pm$ 0,03	27,95 $\pm$ 0,42	66,08 $\pm$ 0,36
Pós-rigor	5,78 $\pm$ 0,02	29,37 $\pm$ 0,32	64,28 $\pm$ 0,43
<i>Tempo de congelamento das carcaças (TC)</i>			
0 meses (início)	6,38 $\pm$ 0,04	27,49 $\pm$ 0,91 ^B	64,42 $\pm$ 1,36
6 meses	5,66 $\pm$ 0,06	33,91 $\pm$ 1,01 ^A	65,68 $\pm$ 1,08
12 meses	5,83 $\pm$ 0,04	30,63 $\pm$ 0,60 ^{AB}	65,32 $\pm$ 0,76
<i>P – valor</i>			
P (FR)	< 0,0001	0,0762	0,3553
P (TC)	< 0,0001	< 0,0001	0,2012
P (FR x TC)	< 0,0001	0,1614	0,0829
CV (%)	1,77	31,75	6,17

^{A - B} Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); EPM: erro padrão da média.

Houve interação ($p < 0,05$) entre a fase do *rigor mortis* e o tempo de congelamento das carcaças para a variável pH, cujo desdobramento é apresentado na Tabela 5. Durante os 6 primeiros meses de armazenamento, a carne congelada no pré-rigor se mostrou menos ácida em relação à carne congelada no pós-rigor, expressa por valores de pH mais elevados. Aos 12 meses de armazenamento, não houve diferença significativa entre o pH das amostras congeladas nas fases de pré e pós rigor.

Com relação ao tempo de congelamento, as amostras *in natura* (sem

congelamento) apresentaram maior pH muscular em relação às congeladas, independentemente do tempo de congelamento decorrido.

Curiosamente, aos 6 meses, a carne pós-rigor se mostrou mais ácida, com o menor pH dentre os tempos, o que pode ter afetado as variáveis já apresentadas, como PPC, intensidade de vermelho (a^*), amarelo (b^*) e luminosidade (L^*).

Tabela 5. Desdobramento ($\pm$ EPM) da interação entre a fase do *rigor mortis* e o tempo de congelamento das carcaças para pH do músculo *longissimus lumborum* em coelhos Botucatu.

Fase do <i>rigor mortis</i>	Tempo de congelamento das carcaças		
	0 meses (início)	6 meses	12 meses
	<i>pH</i>		
Pré-rigor	6,86 $\pm$ 0,14 ^{Aa}	5,77 $\pm$ 0,11 ^{Ab}	5,80 $\pm$ 0,12 ^{Ab}
Pós-rigor	5,91 $\pm$ 0,11 ^{Ba}	5,56 $\pm$ 0,10 ^{Bc}	5,86 $\pm$ 0,13 ^{Ab}

Médias seguidas por letras distintas nas colunas (maiúsculas) e nas linhas (minúsculas) diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); EPM: erro padrão da média.

O tempo de armazenamento das carcaças também influenciou ($< 0,0001$) as variáveis CS, IFM e TBARS. Na carne *in natura*, os sarcômeros apresentaram menor comprimento (1,80 μm) quando comparadas à carne congelada por 6 e 12 meses (2,14 e 2,02 μm , respectivamente). Já o IFM foi maior em amostras em pós-rigor (67,40) do que daquelas em pré-rigor (52,08). Em relação ao tempo de armazenamento, o IFM foi superior nas carcaças congeladas por 12 meses, assim como a oxidação lipídica, que aumentou gradativamente durante o congelamento, até atingir valor máximo aos 12 meses (0,281 $\rightarrow$ 0,809 mg MDA Kg⁻¹).

Tabela 6. Médias ($\pm$ EPM) dos valores de força de cisalhamento (FC), comprimento de sarcômero (CS), índice de fragmentação miofibrilar (IFM) e oxidação lipídica (TBARS) no músculo *longissimus lumborum* de coelhos Botucatu em função da fase do *rigor mortis* e do tempo de congelamento das carcaças.

	FC (N)	CS (µm)	IFM	TBARS (mg MDA kg-1)
	Fase do rigor mortis (FR)			
Pré-rigor	22,85 ± 1,60	2,05 ± 0,07	52,08 ± 1,39 ^B	0,463 ± 0,02
Pós-rigor	25,30 ± 1,34	1,92 ± 0,02	67,40 ± 1,14 ^A	0,541 ± 0,01

Tabela 6. Médias ($\pm$ EPM) dos valores de força de cisalhamento (FC), comprimento de sarcômero (CS), índice de fragmentação miofibrilar (IFM) e oxidação lipídica (TBARS) no músculo *longissimus lumborum* de coelhos Botucatu em função da fase do *rigor mortis* e do tempo de congelamento das carcaças.

(conclusão)				
FC (N)	CS (µm)	IFM	TBARS (mg MDA kg-1)	
Tempo de congelamento das carcaças (TC)				
0 meses (início)	39,61 ± 1,88	1,80 ± 0,06 ^B	51,21 ± 3,27 ^B	0,281 ± 0,05 ^C
6 meses	20,10 ± 1,49	2,14 ± 0,04 ^A	50,30 ± 1,73 ^B	0,415 ± 0,05 ^B
12 meses	12,45 ± 1,09	2,02 ± 0,04 ^{AB}	77,70 ± 3,17 ^A	0,809 ± 0,08 ^A
P – valor				
P (FR)	0,1298	0,2156	< 0,0001	0,3109
P (TC)	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,0096
P (FR x TC)	< 0,0001	0,4627	0,3272	0,0642
CV (%)	52,92	13,84	13,84	19,12

^{A - C} Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05); EPM: erro padrão da média.

Pôde ainda ser observada interação entre a fase do *rigor mortis* ao congelamento e o tempo de congelamento para a FC, com seu desdobramento apresentado na Tabela 7.

Tabela 7. Desdobramento ($\pm$ EPM) da interação entre a fase do *rigor mortis* e o tempo de congelamento das carcaças para força de cisalhamento do músculo *longissimus lumborum* em coelhos Botucatu.

Fase do <i>rigor mortis</i>	Tempo de congelamento das carcaças		
	0 meses (início)	6 meses	12 meses
Força de Cisalhamento (N)			
Pré-rigor	34,23 $\pm$ 1,89 ^{Ba}	21,57 $\pm$ 1,11 ^{Aab}	12,75 $\pm$ 1,02 ^{Ab}
Pós-rigor	45,11 $\pm$ 1,69 ^{Aa}	18,63 $\pm$ 1,30 ^{Ab}	12,16 $\pm$ 1,09 ^{Ab}

Médias seguidas por letras distintas nas colunas (maiúsculas) e nas linhas (minúsculas) diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05); EPM: erro padrão da média.

Amostras *in natura* apresentaram maior força de cisalhamento, diminuindo ao longo do armazenamento, indicando o aumento da maciez do LL congelado por até 12 meses. Amostras *in natura* em estágio pré-rigor ainda apresentaram menor FC (34,23 N) em relação às carnes no pós-rigor (45,11 N), caracterizando maior maciez.

Nos demais tempos, não houve diferenciação significativa para FC, quanto ao estágio do *rigor mortis* adotado no momento do congelamento.

Foi observado efeito significativo para a composição química da carne de coelhos Botucatu, onde os percentuais de proteína, gordura e carboidrato aumentaram e de matéria mineral reduziu à medida que o tempo de armazenamento das carcaças evoluiu, conforme demonstrado na Tabela 8. Não foi verificada diferença significativa para estas variáveis em função da fase do *rigor mortis* no congelamento das carcaças.

Tabela 8. Composição química média ($\pm$ EPM) do músculo *longissimus lumborum* de coelhos Botucatu em função da fase do *rigor mortis* e do tempo de congelamento das carcaças.

	Umidade (%)	Proteína (%)	Matéria Mineral (%)	Gordura (%)	Carboidrato (%)
<i>Fase do rigor mortis (FR)</i>					
Pré-rigor	73,54 $\pm$ 0,36	22,92 $\pm$ 1,36	1,28 $\pm$ 0,08	2,05 $\pm$ 0,13	0,21 $\pm$ 0,06
Pós-rigor	73,2 $\pm$ 0,36	22,76 $\pm$ 1,36	1,24 $\pm$ 0,06	2,06 $\pm$ 0,13	0,24 $\pm$ 0,07
<i>Tempo de congelamento das carcaças (TC)</i>					
0 meses (início)	73,77 $\pm$ 0,34	22,63 $\pm$ 1,36 ^B	1,31 $\pm$ 0,16 ^A	1,96 $\pm$ 0,13 ^B	0,33 $\pm$ 0,07 ^B
6 meses	73,43 $\pm$ 0,28	22,74 $\pm$ 1,36 ^B	1,27 $\pm$ 0,08 ^{AB}	2,03 $\pm$ 0,13 ^B	0,53 $\pm$ 0,06 ^A
12 meses	72,93 $\pm$ 0,32	23,16 $\pm$ 1,36 ^A	1,16 $\pm$ 0,18 ^B	2,20 $\pm$ 0,13 ^A	0,55 $\pm$ 0,03 ^A
<i>P – valor</i>					
P (FR)	0,4262	0,4768	0,0692	0,1581	0,3552
P (TC)	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,0151	0,0124
P (FR x TC)	< 0,0001	0,2504	0,2014	0,4292	0,1311
CV (%)	2,31	12,47	1,98	1,56	8,98

^{A - B} Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); EPM: erro padrão da média.

Foi verificada interação para o percentual de umidade das amostras de LL em função dos fatores estudados, conforme desdobramento apresentado na Tabela 9. A carne *in natura* apresentou maior teor de umidade do que amostras congeladas nos demais tempos, independentemente da fase do *rigor mortis* ao congelamento. No entanto, aos 0 e 12 meses de congelamento, o percentual de umidade foi maior para carnes no pré-rigor, diferentemente dos 6 meses em que esses valores foram iguais.

Tabela 9. Desdobramento ($\pm$ EPM) da interação entre a fase do *rigor mortis* e o tempo de congelamento das carcaças para o teor de umidade do músculo *longissimus lumborum* em coelhos Botucatu.

Fase do <i>rigor mortis</i>	Tempo de congelamento das carcaças		
	0 meses (início)	6 meses	12 meses
<i>Umidade (%)</i>			
Pré-rigor	74,08 $\pm$ 0,36 ^{Aa}	73,45 $\pm$ 0,41 ^{Aab}	73,10 $\pm$ 0,34 ^{Ab}
Pós-rigor	73,45 $\pm$ 0,41 ^{Ba}	73,41 $\pm$ 0,46 ^{Aa}	72,75 $\pm$ 0,37 ^{Bb}

Médias seguidas por letras distintas nas colunas (maiúsculas) e nas linhas (minúsculas) diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); EPM: erro padrão da média.

A energia bruta da carne ($p < 0,0001$) aumentou ao longo do período de armazenamento congelado (Tabela 10), provavelmente em decorrência da redução no teor de umidade das amostras nos respectivos períodos, fazendo com que os demais componentes químicos com conhecido valor calórico (gordura, proteína e carboidrato) estivessem mais concentrados nas amostras analisadas.

Tabela 10. Médias ($\pm$ EPM) dos valores de energia bruta, colesterol e proteína solúvel do músculo *longissimus lumborum* de coelhos Botucatu em função da fase do *rigor mortis* e do tempo de congelamento das carcaças.

	Energia Bruta (Kcal/100g)	Colesterol (mg/100g)	Proteína solúvel (mg/mL)
<i>Fase do rigor mortis (FR)</i>			
Pré-rigor	110,97 $\pm$ 1,16	62,36 $\pm$ 1,03	0,124 $\pm$ 0,03
Pós-rigor	110,54 $\pm$ 1,14	62,60 $\pm$ 1,23	0,135 $\pm$ 0,03
<i>Tempo de congelamento das carcaças (TC)</i>			
0 meses (início)	109,48 $\pm$ 1,06 ^B	63,60 $\pm$ 1,16	-
6 meses	111,35 $\pm$ 1,31 ^{AB}	63,46 $\pm$ 1,16	0,129 $\pm$ 0,03
12 meses	114,64 $\pm$ 1,26 ^A	60,37 $\pm$ 1,16	0,130 $\pm$ 0,03
<i>P – valor</i>			
P (FR)	0,8312	0,0681	0,8321
P (TC)	< 0,0001	0,2121	0,0673
P (FR x TC)	0,3122	0,2342	0,0671
CV (%)	8,32	11,02	6,31

^{A - B} Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); EPM: erro padrão da média.

Os resultados da concentração de colesterol presente nas amostras do LL e

da proteína solúvel presente no exsudado liberado da carcaça durante o descongelamento não apresentaram diferenças significativas em resposta a nenhum dos fatores estudados.

Discussão

Em coelhos vivos, o pH muscular é próximo à neutralidade (Bate-Smith & Bendall, 1949), decrescendo abruptamente nos primeiros estágios *post-mortem* e de maneira menos acentuada nas horas subsequentes (Ikeuchi & Fukazawa, 1980; Hulot & Ouhayoun, 1999). Essa queda do pH é decorrente do acúmulo de ácido fosfórico inorgânico resultante da depleção de trifosfato de adenosina (ATP) (Scherer et al., 2005) e do esgotamento das reservas de glicogênio muscular com consequente formação de ácido láctico (Koziol et al., 2015), importante processo na transformação do músculo em carne. No entanto, a refrigeração das carcaças quentes faz com que essa sequência de reações seja inibida, retardando o declínio do pH e o consequente desenvolvimento do *rigor mortis* (Laury & Sebranek, 2007; Sukumaran et al., 2018).

Os valores de pH encontrados em nosso estudo foram condizentes com aqueles já reportados na literatura para coelhos de corte. Jolley et al. (2007), por exemplo, registraram pH_i e pH_{24h} de 6,74 e 6,00 no LD, respectivamente. Enquanto Wang et al. (2018) verificaram pH_{24h} de 5,87 para coelhos Hyla.

Esses valores de pH impactam diretamente a luminosidade da carne. Ao atingir valores próximos a 5,6, o pH se aproxima do ponto isoelétrico das proteínas miofibrilares, sobretudo actina e miosina, as quais se desnaturam e ao se aproximarem umas das outras acabam por ligar menos água, com formação de lacunas heterogêneas entre as miofibrilas. Essa mudança na conformação das proteínas promove alterações nos índices de refração, desviando a luz ao passar de um meio para outro, resultando em sua dispersão e no aumento da refletividade (Ramos & Gomide, 2017; Mickelson & Claus, 2020). Daí o fato da carne em estágio pós-rigor apresentar maior luminosidade em relação àquela no pré-rigor, como verificado no presente estudo, corroborando os achados de Claus e Sørheim (2006), os quais verificaram que a superfície externa da carne bovina pós-rigor possuía

maior luminosidade do que a carne pré-rigor. O mesmo raciocínio poderia ser aplicado às carcaças de coelhos congeladas pós-rigor, quando aos 6 meses de armazenamento, observou-se mais baixo valor de pH (5,56) e valores destacadamente superiores de luminosidade para as superfícies dorsal e ventral do LL (62,12 e 60,90, respectivamente).

Associada à luminosidade, uma das coordenadas de cor mais interessantes para a indústria cunícula é a intensidade de vermelho (a^*). Baixos valores positivos indicam menor tendência à vermelhidão, com apresentação de uma carne róseo-avermelhada, mais atraente do ponto de vista do consumidor moderno, que busca cada vez mais a incorporação de carnes brancas em sua dieta. A intensidade de vermelho é dependente dos teores de mioglobina presentes nos músculos das diferentes espécies e da pressão de oxigênio circundante, os quais contribuem para a alteração na cor da carne durante o armazenamento refrigerado, desde o marrom derivado da metamioglobina ao vermelho brilhante derivado da oximioglobina (Koziol et al., 2015). Em coelhos, os teores de mioglobina são muito baixos (0,02% na matéria natural) em comparação com espécies de carne vermelha como bovinos (0,39 – 0,48% na matéria natural) (Van Beers et al., 2018). Ainda assim, a superfície dorsal do LL se mostrou mais avermelhada após estabelecido o *rigor mortis*, tal qual verificado por Carrillo-Lopez et al. (2021), que registraram maior vermelhidão da carne de coelho à medida que o tempo de resfriamento avançou nas primeiras horas *post-mortem*. No músculo *post-mortem*, as mitocôndrias permanecem ativas e influenciam a cor da carne ao consumirem oxigênio. Logo, a expressão da metamioglobina é reduzida, conferindo à superfície que está exposta ao ar um tom mais avermelhado (Ramanathan & Mancini, 2018), que, associado à acidificação muscular, torna o músculo mais claro à medida que o rigor se desenvolve e o pH se aproxima do ponto isolétrico das proteínas musculares, conforme explicitado anteriormente.

Já a intensidade de amarelo foi mais pronunciada na superfície ventral do LL em amostras que passaram pelo processo de *rigor mortis*. Similarmente, Claus e Sørheim (2006) verificaram que a superfície externa da carne pré-rigor apresentou maior intensidade de amarelo em relação à carne pós-rigor. Aumento esse igualmente observado para ambas as superfícies ao longo dos 12 meses de

congelamento. Geralmente, enquanto b^* aumenta, a^* e L^* tendem a diminuir durante o armazenamento congelado (Jeong et al., 2006; Moore & Young, 1991). Chwastowska-Siwiecka et al. (2013) também verificaram mudanças nos parâmetros de cor em resposta ao congelamento, com aumento na intensidade de amarelo e diminuição na de vermelho no músculo *longissimus dorsi* de coelhos congelados.

Esta redução na vermelhidão da carne de coelho em função do tempo de congelamento tem sido recentemente demonstrada em outros estudos (Lan et al.; 2016; Carrillo-Lopez et al., 2021). Lan et al. (2016) observaram que a intensidade de vermelho nos músculos da coxa/sobrecoxa de coelhos diminuiu com o tempo de armazenamento, assim como registrado no presente estudo para o músculo lombar dos coelhos Botucatu. Durante todo o período de armazenamento, a atividade da MetMb redutase (MRE), enzima que degrada a metamioglobina (MetMb) em desoximioglobina (DeoMb), e depois a oxigena novamente à oximioglobina (OxyMb), diminui à medida que a carne é congelada (Ben Abdallah et al., 1999; Alonso et al., 2016). Consequentemente, a MetMb se acumula gradualmente nas superfícies da carne, conferindo uma coloração menos avermelhada (Ballin & Lametsch, 2008).

Já a luminosidade da carne dos coelhos Botucatu foi menor ao final dos 12 meses de congelamento, quando o pH apresentou valores mais baixos. Comportamento similar foi registrado por Lan et al. (2016), em que L^* da coxa/sobrecoxa de coelho diminuiu de 64,07 para 56,89 e 56,41, ao longo do período de congelamento a -4°C e $-2,5^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Assim como Dalle Zotte et al. (2016) também verificaram menor luminosidade do mesmo corte ao final do congelamento, com diminuição do L^* de 62,3 para 58,2.

A diminuição do pH notada durante o armazenamento congelado está relacionada à liberação de exsudatos que acabam por inibir o poder tampão, induzindo a desnaturação das proteínas miofibrilares e a liberação de íons H^+ , com consequente aumento na concentração de solutos (Leygonie et al., 2012). Senesi et al. (1976), por exemplo, observaram que a carne de coelho congelada por até seis meses apresentou maior acidez (pH: 5,3 – 5,5) do que a carne *in natura* (pH: 5,9). Já Carrillo-Lopez et al. (2021) registraram pH_u variando de 5,68 a 5,72, ao final do armazenamento congelado.

É interessante observar que as carnes congeladas nas diferentes fases do

rigor mortis somente se equipararam em termos de acidez aos 12 meses de congelamento, quando os valores de pH do LL pré-rigor deixam de ser superiores àqueles do pós-rigor. Isso porque o congelamento não interrompe totalmente as reações enzimáticas, logo, o processo de maturação continua, mesmo em temperaturas negativas, até que todas as reservas glicolíticas sejam esgotadas (Dalle Zotte, 2002).

No entanto, a sutil elevação do pH para o grupo pós-rigor, ao final do período avaliado (do 6º ao 12º mês), também foi observada por outros autores, quando do congelamento da carne de coelho submetida a 24h de resfriamento pós-abate (Cabanés et al. 1996; Lan et al., 2016). Dalle Zotte et al. (1998), em um de seus estudos, semelhantemente registraram que o pH da carne de coelho congelada permaneceu estável por até três meses, seguido por uma ascensão progressiva até o 15º mês de armazenamento. A elevação do pH da carne congelada pode ser atribuída à produção de amônia, aminas e outras substâncias decorrentes da degradação de proteínas por microorganismos deteriorantes da carne e enzimas endógenas (Rodríguez-Calleja et al., 2005; Muela et al., 2010). Por outro lado, a desaminação adicional de proteínas, levando à formação de alta quantidade de nitrogênio volátil total (Dalle Zotte et al., 1998) e a proteólise *post-mortem* de proteínas miofibrilares durante a resolução do *rigor mortis* (Koochmaraie & Geesink, 2006) poderiam também ter aumentado ligeiramente o pH muscular.

Sendo assim, é possível inferir que o *rigor mortis* tenha continuado a se desenvolver ao longo do armazenamento congelado, assim como nas 24 horas de descongelamento precedendo as análises físico-químicas, sobretudo nas carnes congeladas sem resfriamento prévio, ou seja, em estágio pré-rigor, o que pode ter impactado os parâmetros avaliados.

O pH associado ao tempo de armazenamento parece também ter influenciado a perda de peso por cozimento, demonstrando uma relação direta com o avançar do tempo, onde quanto menor o pH, maior a PPC, e vice-versa. Tem-se observado que valores de pH mais elevados, geralmente, fazem com que a perda de peso por cozimento seja reduzida (Sukumaran et al., 2018). Lan et al. (2016) também verificaram que a perda por cozimento de carnes de coelho congeladas aumentou gradualmente à medida que o tempo de armazenamento avançou e que o

congelamento preveniu, mas não inibiu, a degradação proteica. Sendo assim, à medida que a acidificação muscular avança e os valores de pH se aproximam do ponto isoelétrico das proteínas miofibrilares, maiores perdas de peso durante o processo de cocção são observadas, como consequência da desnaturação sarcoplasmática e miosínica por ação de proteases específicas e também da fragmentação miofibrilar causada pelos cristais de gelo formados com o avanço do do congelamento (Hulot & Ouhayoun, 1999). A formação de cristais de gelo durante o congelamento produz danos ultra-estruturais miofibrilares e concentra os solutos da carne, levando a alterações nas reações bioquímicas a nível celular e na qualidade da carne congelada, quando comparado à carne *in natura* (Leygonie et al., 2012).

Por outro lado, essas alterações promoveram maior maciez à carne ao longo do congelamento. Os achados de Lan et al. (2016), ao analisarem a qualidade de carne de coelho congelada por até 36 dias, corroboram nossos resultados ao verificarem que, além da intensidade de vermelho, da luminosidade e da integridade da microestrutura do músculo, a força de cisalhamento também diminuiu com o armazenamento, assim como relatado por Vergara et al. (2005) e Carrillo-Lopez et al. (2021).

A ruptura dos tecidos conjuntivos e das miofibrilas, explicitada pelo aumento do índice de fragmentação miofibrilar, justifica o motivo pelo qual a força de cisalhamento diminuiu acentuadamente durante o congelamento, conferindo maior grau de maciez ao LL, promovida não somente pela formação de cristais de gelo (Leygonie et al., 2012), mas também pela atividade enzimática intermediada por enzimas bacterianas e endógenas (calpaínas e catepsinas) que degradam proteínas-chave como troponina, conectina e desmina (Lan et al.; 2016; Carrillo-Lopez et al., 2021). A esse aumento na maciez, atribui-se, ainda, o maior grau de relaxamento das fibras musculares, evidenciado pelo aumento no comprimento de sarcômero à medida que tempo de armazenamento congelado avançou (Ramos e Gomide, 2017).

A maior ruptura do tecido celular e a formação de cristais de gelo entre e dentro das fibras acarretam em maior redistribuição de água e acúmulo de solutos durante o congelamento (Jalang'o, Saul & Lawrie, 1987; Chwastowska-Siwiecka et

al., 2013), e, conseqüentemente, em maiores perdas de exsudato durante o descongelamento. Com isso, compostos hidrofóbicos como a gordura e demais componentes proteicos e energéticos da carne se concentraram nas amostras descongeladas que foram submetidas a longos períodos de armazenamento, em uma relação inversamente proporcional ao teor de umidade, como já demonstrado em estudos anteriores (Leygonie et al., 2012; Pereira et al., 2022); enquanto os minerais são perdidos juntamente com o líquido exsudado da carne, proporcionalmente à perda de umidade. Esse aumento na concentração dos principais componentes da carne, faz com que os valores de energia bruta sejam maiores à medida que o armazenamento avança. Fadlilah et al. (2020) também registraram energia bruta de 110,47 Kcal/100g para a carne de coelhos Nova Zelândia Branco, raça mundialmente conhecida por seu potencial cárneo. Os valores calóricos encontrados estão próximos àquele informado pela FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura) que indica 120 Kcal/100g de carne de coelho (FAO, 1997).

A composição centesimal da carne de coelho pode variar em função de diversos fatores intrínsecos e extrínsecos ao animal, contudo, os valores encontrados são congruentes com aqueles já reportados na literatura científica (Dalle Zotte & Szendrő, 2011; Hernández & Dalle Zotte, 2020; Fadlilah et al., 2020). Assim como Bianospino et al. (2006), por exemplo, que registraram teores médios similares de proteína em 21,54%, umidade 76,11%, gordura 0,69% e matéria mineral 1,24% para a carne de coelhos Botucatu, atestando a qualidade nutricional do LL na linhagem avaliada.

Já as carcaças resfriadas apresentam maiores perdas de água devido ao processo de evaporação decorrente do resfriamento pelo ar em câmara fria (*air chilling*), o que faz com que o LL no pré-rigor (sem resfriamento) apresente maior teor de umidade em relação ao LL no pós-rigor (com 24 horas de resfriamento), assim como já registrado para carcaças bovinas, que podem perder até 2% do seu peso inicial durante o período de resfriamento em função das perdas evaporativas (Kinsella et al., 2006).

Apesar do aumento observado no teor de gordura, o congelamento prolongado não cessou, mas foi capaz de inibir, o processo de oxidação lipídica, um

dos principais responsáveis pela deterioração da qualidade da carne (Turhan et al., 2017). A oxidação lipídica produz hidroperóxidos, os quais são degradados a produtos secundários, como cetonas, aldeídos e outros grupos carbonilas, responsáveis pelo desenvolvimento de sabores rançosos e pungentes na carne (Ganhão et al., 2011; Wang et al., 2018). Dentre eles, o malonaldeído (MDA), segundo principal produto da oxidação lipídica, tem sido amplamente utilizado como indicador da oxidação lipídica (TBARS).

O aumento gradual dos valores de TBARS durante o congelamento da carne já era esperado, uma vez que a carne de coelho possui teores relativamente altos de ácidos graxos poli-insaturados (Dalle Zotte & Szendro, 2011), portanto, susceptível à oxidação lipídica em longos períodos de armazenamento (Lopez-Bote, 1997), conforme já verificado por outros autores (Leygonie et al.; 2012; Sukumaran et al., 2018; Wang et al., 2018). Lan et al. (2016), por exemplo, verificaram que o TBARS aumentou de forma contínua a partir de 0,05 mg MDA/kg na carne de coelho *in natura* para 1,037 e 0,773 mg MDA/kg quando congelada por 36 dias a -2,5°C e -4°C, respectivamente.

No entanto, ao longo dos 12 meses de armazenamento, o congelamento prolongado não permitiu que fossem ultrapassados valores superiores a 2 mg MDA/kg de carne, considerado limite para análise de TBARS (Ripoll et al., 2011), assegurando assim a qualidade da carne. Além disso, concomitantemente ao aumento da formação de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico, a diminuição nos valores de L^* e a^* sugere que a oxidação de lipídios contribuiu para a oxidação acelerada da mioglobina e, logo, para a descoloração da carne de coelho congelada (Leygonie et al., 2012; Wang et al., 2018).

Conclusões

A carne *in natura* de coelhos Botucatu em estágio pré-rigor é mais macia, mais úmida e menos avermelhada do que aquela que completa o processo de *rigor mortis* durante 24h de resfriamento. Em contrapartida, o armazenamento sob congelamento a -20°C promove o amaciamento dessa carne, assim como quando congelada na fase pós-rigor, com preservação de sua qualidade física, química e

nutricional por até 12 meses de congelamento, mas com sutis alterações de cor, maior acidez e perdas em umidade e minerais.

Referências

- Alonso, V., Muela, E., Tenas, J., Calanche, J. B., Roncalés, P., & Beltrán, J. A. (2016). Changes in physicochemical properties and fatty acid composition of pork following long-term frozen storage. *European Food Research and Technology*, 242(12), 2119–2127. <https://doi.org/10.1007/s00217-016-2708-y>
- Añón, M. C., & Calvelo, A. (1980). Freezing rate effects on the drip loss frozen beef. *Meat Sci*, 4, 90018–90020. <https://doi.org/10.1016/0309-1740>
- Association of Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. 18. (2011). AOAC, 18.
- Ballin, N. Z., & Lametsch, R. (2008). Analytical methods for authentication of fresh vs. thawed meat - A review. *Meat Science*, 80(2), 151–158. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.12.024>
- Bate-Smith, E. C., & Bendall, J. R. (1949). Factors determining the time course of *rigor mortis*. *The Journal of Physiology*, 110(1–2), 47–65. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1949.sp004420>
- Ben Abdallah, M., Marchello, J. A., & Ahmad, H. A. (1999). Effect of freezing and microbial growth on myoglobin derivatives of beef. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(10), 4093–4099. <https://doi.org/10.1021/jf9809434>
- Bendall, J. R. (1951). The shortening of rabbit muscles during *rigor mortis*: Its relation to the breakdown of adenosine triphosphate and creatine phosphate and to muscular contraction. *J. Physiol*, 114.
- Bianospino, E., Wechsler, F. S., Fernandes, S., Roça, R. D. O., & Moura, A. S. A. M. T. (2006). Growth, carcass and meat quality traits of straightbred and crossbred Botucatu rabbits. *World Rabbit Science*, 237-246.
- Bernthal, P. H., Booren, A. M., & Gray, J. I. (1989). Effect of sodium chloride concentration on pH, water-holding capacity and extractable protein of pre-rigor and post-rigor ground beef. *Meat Science*, 25(2), 143–154.
- Bligh, E. G., & Dyer, W. J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 37(8), 911–917. <https://doi.org/10.1139/o59-099>
- Brasil. Decreto n. 9.013, de 29 de março de 2017. (2017). *Regulamenta a Lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei nº 7.889, de 23 de novembro*

de 1989, que dispõem sobre a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. Diário Oficial da União. Presidência da República. Secretaria-Geral. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, 3.

- Brasil. Decreto n. 10.469, de 18 de agosto de 2020. (2020). *Altera o Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017, que regulamenta a Lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei nº 7.889, de 23 de novembro de 1989, que dispõem sobre o regulamento da inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal*. Diário Oficial da União. Atos do Poder Executivo. Brasília, ed. 159, 5.
- Busch, W. A., Jr., F. C. P., & Goll, D. E. (1967). Molecular properties of *post-mortem* muscle. 4. Effect of temperature on adenosine triphosphate degradation, isometric tension parameters, and shear resistance of bovine muscle. *Journal of Food Science*, 32(4), 390–394. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1967.tb09692.x>
- Cabanes, A., Ouhayoun, J., & Gilbert, S. (1996). Congélation de La Viande de Lapin: Influence de La Durée de Conservation Sur Les 1011 Propriétés Physico-Chimiques et Sensorielles (3, 6, 9, 12 et 18 Mois). *Viandes et Produits Carnés (Aubière)*, 17, 166–171.
- Carrillo-Lopez, L. M., Robledo, D., Martínez, V., Huerta-Jimenez, M., Titulaer, M., Alarcon-Rojo, A. D., Chavez-Martinez, A., Luna-Rodriguez, L., & Garcia-Flores, L. R. (2021). *Post-mortem* ultrasound and freezing of rabbit meat: Effects on the physicochemical quality and weight loss. *Ultrasonics Sonochemistry*, 79(105766), 105766. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105766>
- Cavani, C., & Petracci, M. (2004). Rabbit meat processing and traceability. In *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress* (pp. 1318–1336).
- Cheng, Q., & Sun, D.-W. (2008). Factors affecting the water holding capacity of red meat products: a review of recent research advances. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(2), 137–159. <https://doi.org/10.1080/10408390601177647>
- Choe, J.-H., Jang, A., Lee, E.-S., Choi, J.-H., Choi, Y.-S., Han, D.-J., Kim, H.-Y., Lee, M.-A., Shim, S.-Y., & Kim, C.-J. (2011). Oxidative and color stability of cooked ground pork containing lotus leaf (*Nelumbo nucifera*) and barley leaf (*Hordeum vulgare*) powder during refrigerated storage. *Meat Science*, 87(1), 12–18. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.08.011>
- Chwastowska-Siwiecka, J., Kondratowicz, J., Gugolek, A., & Matusevicius, P. (2013). Changes in the Physicochemical Properties of Deep-Frozen Rabbit Meat as Dependent on Thawing Method, *Vet. Vet. Zootech-Lith*, 62, 68–72.

- CIE. Commission Internationale de L'eclairage. (1976) *Colorimetry - Part 4: L*a*b* Colour Space*. Vienna, Austria, 1976.
- Claus, J. R., & Sørheim, O. (2006). Preserving pre-rigor meat functionality for beef patty production. *Meat Science*, 73(2), 287–294. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.12.004>
- Claussen, C. M., McElroy, B. R., Wilson, B. T., Boetel, D. J., Chu, H. Y., & Hollenbeck, J. J. (2017). U.S. Patent No. 9,687,013. Washington, DC: U.S. (Patent and Trademark Office).
- Council Regulation (EC). No 1099/2009. *Council Regulation on the protection of animals at the time of killing*.
- Cross, H. R., West, R. L., & Dutson, T. R. (1981). Comparison of methods for measuring sarcomere length in beef semitendinosus muscle. *Meat Science*, 5(4), 261–266. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(81\)90016-4](https://doi.org/10.1016/0309-1740(81)90016-4)
- Culler, R. D., Jr, F. C. P., Smith, G. C., & Cross, H. R. (1978). Relationship of myofibril fragmentation index to certain chemical, physical and sensory characteristics of bovine longissimus muscle. *Journal of Food Science*, 43(4), 1177–1180. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1978.tb15263.x>
- Dal Bosco, A., Castellini, C., & Mugnai, C. (2002). Rearing rabbits on a wire net floor or straw litter: behaviour, growth and meat qualitative traits. *Livest. Prod. Sci*, 75, 149–156. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00307-4](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00307-4)
- Dalle Zotte, A. (2002). Perception of rabbit meat quality and major factors influencing the rabbit carcass and meat quality. *Livestock Production Science*, 75(1), 11–32. [https://doi.org/10.1016/s0301-6226\(01\)00308-6](https://doi.org/10.1016/s0301-6226(01)00308-6)
- Dalle Zotte, A., Cullere, M., Alberghini, L., Catellani, P., & Paci, G. (2016). Proximate composition, fatty acid profile, and heme iron and cholesterol content of rabbit meat as affected by sire breed, season, parity order, and gender in an organic production system. *Czech Journal of Animal Science*, 61(9), 383–390. <https://doi.org/10.17221/24/2016-cjas>
- Dalle Zotte, A., & Ouhayoun, J. (1998). Effect of genetic origin, diet and weaning weight on carcass composition, muscle physicochemical and histochemical traits in the rabbit. *Meat Science*, 50(4), 471–478. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(98\)00060-6](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(98)00060-6)
- Dalle Zotte, A., Rizzi, C., & Chiericato, G. M. (1998). Un trop long stockage dégrade les caractéristiques qualitatives. *Viandes et Produits Carnés*, 19, 147–150.
- Dalle Zotte, A., & Szendro, Z. (2011). The role of rabbit meat as functional food. *Meat Science*, 88(3), 319–331. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.02.017>

- Davey, C. L., & Gilbert, K. V. (1976). Thaw contracture and the disappearance of adenosinetriphosphate in frozen lamb. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 27(12), 1085–1092. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740271203>
- Fadlilah, A., Rosyidi, D., & Susilo, A. (2020). Chemical quality of fresh New Zealand White Rabbit Meat in Batu, Indonesia. *IOP Conference Series. Materials Science and Engineering*, 811(1), 012024. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/811/1/012024>
- FAO. (1997). *The Rabbit - Husbandry, Health and Production*. Lebas, F. Coudert, P. De Rochambeau H. and. Thébault R.G. (edits). FAO Animal Production and Health Series No. 21 (new revised version), Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome (Italy).
- FAO. (2020). *Faostat: FAO Statistical Databases*. Food & Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>
- Folch, J., Lees, M., & Sloane Stanley, G. H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *The Journal of Biological Chemistry*, 226(1), 497–509. [https://doi.org/10.1016/s0021-9258\(18\)64849-5](https://doi.org/10.1016/s0021-9258(18)64849-5)
- Ganhão, R., Estévez, M., & Morcuende, D. (2011). Suitability of the TBA method for assessing lipid oxidation in a meat system with added phenolic-rich materials. *Food Chemistry*, 126(2), 772–778. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.064>
- Gariépy, C., & Delaquis, P. (1993). Hot boning of meat. *Food-Industries*, 46(1).
- Gong, S. L., Yang, Y. S., Shen, H., Wang, X. Y., Guo, H. P., & Bai, L. (2011). Meat handling practices in households of Mainland China. *Food Control*, 22(5), 749–755. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.11.009>
- Gornall, A. G., Bardawill, C. J., & David, M. M. (1949). Determination of serum proteins by means of the biuret reaction. *The Journal of Biological Chemistry*, 177(2), 751–766. [https://doi.org/10.1016/s0021-9258\(18\)57021-6](https://doi.org/10.1016/s0021-9258(18)57021-6)
- Gothard, R. H., Mullins, A. M., Boulware, R. F., & Hansard, S. L. (1966). Histological studies of *post-mortem* changes in sarcomere length as related to bovine muscle tenderness. *Journal of Food Science*, 31(6), 825–828. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1966.tb03256.x>
- Hamm, R. (1960). Biochemistry of meat hydration. *Advances in Food Research*, 2, 335–443.
- Hartree, E. F. (1972). Determination of protein: a modification of the Lowry method that gives a linear photometric response. *Analytical Biochemistry*, 48(2), 422–427. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(72\)90094-2](https://doi.org/10.1016/0003-2697(72)90094-2)

- Herring, H. K., Cassens, R. G., Suess, G. G., Brungardt, V. H., & Briskey, E. J. (2008). Tenderness and associated characteristics of stretched and contracted bovine muscles. *Journal of Food Science*, 32(3), 317–323. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1967.tb01321_32_3.x
- Hernández, P., & Dalle Zotte, A. (2010). Influence of diet on rabbit meat quality. In J. De & C. Blas (Eds.), *The nutrition of the Rabbit* (pp. 163–178). CABI Publishing.
- Honikel, K. O., Roncalés, P., & Hamm, R. (1983). The influence of temperature on shortening and rigor onset in beef muscle. *Meat Science*, 8(3), 221–241. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(83\)90046-3](https://doi.org/10.1016/0309-1740(83)90046-3)
- Hulot, F., & Ouhayoun, J. (1999). Muscular pH and related traits in rabbits: a review. *World Rabbit Science*, 7(1). <https://doi.org/10.4995/wrs.1999.378>
- Jalang'o, J. W., Saul, G. L., & Lawrie, R. A. (1987). Observations on muscle press juice from bovine, ovine and porcine muscles. *Meat Science*, 21(1), 73–76. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(87\)90043-X](https://doi.org/10.1016/0309-1740(87)90043-X)
- Jeong, J. Y., Kim, G., Yang, D., & Joo, H. S. (2011). Effect of freeze- thaw cycles on physicochemical properties and color stability of beef semimembranosus muscle. *Food Res. Int*, 44, 3222–3228. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.08.023>
- Jeong, J. Y., Yang, H. S., Park, G. B., Kang, G. H., Lee, J. I., & Joo, S. T. (2006). Effect of freeze- thaw process on myoglobin oxidation of pork loin during cold storage. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 26(1), 1–8.
- Jolley, P. D., Lopes, R. L. T., Dransfield, E., & Perry, G. (2007). Rabbit meat for manufacturing The effect of different post-slaughter cooling treatments. *International Journal of Food Science & Technology*, 18(4), 481–493. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1983.tb00290.x>
- Jurgens, M. H. & Bregendahl, K. 2007. Animal feeding and nutrition. 10th ed., Dubuque, IA, USA: Kendall/Hunt Publishing Co.
- Kinsella, K. J., Sheridan, J. J., Rowe, T. A., Butler, F., Delgado, A., Quispe-Ramirez, A., Blair, I. S., & McDowell, D. A. (2006). Impact of a novel spray-chilling system on surface microflora, water activity and weight loss during beef carcass chilling. *Food Microbiology*, 23(5), 483–490. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2005.05.013>
- Koohmaraie, G. H. (2006). Contribution of *post-mortem* muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system. *Meat Science*, 74(1), 34–43.

- Koohmaraie, M., & Geesink, G. H. (2006). Contribution of *post-mortem* muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system. *Meat Science*, 74(1), 34–43.
- Koziol, K. O. N. R. A. D., Maj, D. O. R. O. T. A., & Bieniek, J. Ó. Z. E. F. (2015). Changes in the color and pH of rabbit meat in the aging process. *Med Weter*, 71(2), 104–108.
- Lan, Y., Shang, Y., Song, Y., & Dong, Q. (2016). Changes in the quality of superchilled rabbit meat stored at different temperatures. *Meat Science*, 117, 173–181. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.02.017>
- Laury, A., & Sebranek, J. G. (2007). Use of carbon monoxide combined with carbon dioxide for modified atmosphere packaging of pre-and postrigor fresh pork sausage to improve shelf life. *Journal of Food Protection*, 70(4), 937–942.
- Lawrie, R. A. (2007). 'Thaw-rigor' and 'cold-shortening' in rabbit muscle. *International Journal of Food Science & Technology*, 3(3), 203–205. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1968.tb01457.x>
- Lazzaroni, C., Biagini, D., & Lussiana, C. (2009). Different rearing systems for fattening rabbits: Performance and carcass characteristics. *Meat Science*, 82(2), 200–204. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.01.011>
- Leygonie, C., Britz, T. J., & Hoffman, L. C. (2011). Oxidative stability of previously frozen ostrich *M. iliofibularis* packaged under different modified atmospheric conditions. *Int. J. Food Sci. Tech*, 46, 1171–1178. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02603.x>
- Leygonie, C., Britz, T. J., & Hoffman, L. C. (2012). Impact of freezing and thawing on the quality of meat: review. *Meat Science*, 91(2), 93–98. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.01.013>
- Lopez-Bote, C., Rey, A., Ruiz, J., Isabel, B., & Sanz Arias, R. (1997). Effect of feeding diets high in monounsaturated fatty acids and α -tocopheryl acetate to rabbits on resulting carcass fatty acid profile and lipid oxidation. *Animal Science (Penicuik, Scotland)*, 64(1), 177–186. <https://doi.org/10.1017/s1357729800015691>
- Lyon, C. E., Lyon, B. G., & Dickens, J. A. (1998). Effects of carcass stimulation, deboning time, and marination on color and texture of broiler breast meat. *The Journal of Applied Poultry Research*, 7(1), 53–60. <https://doi.org/10.1093/japr/7.1.53>
- Marsh, B. B., & Leet, N. G. (1966). Studies in meat tenderness. 111. The effects of cold shortening on tenderness. *J. Food Sci*, 31.

- Marsh, B. B., & Thompson, J. F. (1958). *Rigor mortis* and thawrigor in lamb. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 9(7), 417–424. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740090707>
- Matarneh, S. K., England, E. M., Scheffler, T. L., & Gerrard, D. E. (2017). The Conversion of Muscle to Meat. In *Lawrie's Meat Science* (pp. 159–185). Elsevier.
- Medellin-Lopez, M., Sansawat, T., Strasburg, G., Marks, B. P., & Kang, I. (2014). Cold-batter mincing of hot-boned and crust-freezing air-chilled turkey breast improved meat turnover time and product quality. *Poultry Science*, 93(3), 711–718. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03531>
- Merrill, A. L., & Watt, B. K. (1955). Energy value of foods: basis and derivation. *Agricultural Research Service*, 74.
- Moore, V. J., & Young, O. A. (1991). The effects of electrical stimulation, thawing, ageing and packaging on the colour and display life of lamb chops. *Meat Science*, 30(2), 131–145. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(91\)90003-9](https://doi.org/10.1016/0309-1740(91)90003-9)
- Moura, A., Polastre, S. A. M. T., & Wechsler, R. (2000). Dam and Litter Inbreeding and Environmental Effects on Litter Performance in Botucatu Rabbits. *World Rabbit Science*, 151–157.
- Moura, A., & Costa, S. A. M. T. (2001). Variance Componentes and Response to Selection for Reproductive, Litter and Growth Traits through a Multi-Purpose Index. *World Rabbit Science*, 77–86.
- Muela, E., Sañudo, C., Campo, M. M., Medel, I., & Beltrán, J. A. (2010). Effect of freezing method and frozen storage duration on instrumental quality of lamb throughout display. *Meat Science*, 84(4), 662–669. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.10.028>
- Oliveira, R. F. de, Mello, J. L. M. de, Ferrari, F. B., Cavalcanti, E. N. F., Souza, R. A. de, Pereira, M. R., Giampietro-Ganeco, A., Villegas-Cayllahua, E. A., Fidelis, H. de A., Fávero, M. S., Amoroso, L., Souza, P. A. de, & Borba, H. (2021). Physical, chemical and histological characterization of pectoralis major muscle of broilers affected by wooden breast myopathy. *Animals: An Open Access Journal from MDPI*, 11(3), 596. <https://doi.org/10.3390/ani11030596>
- Pereira, M. R., Mello, J. L. M., Oliveira, R. F., Villegas-Cayllahua, E. A., Cavalcanti, E. N. F., Fidelis, H. A., Ferrari, F. B., Giampietro-Ganeco, A., Souza, P. A., & Borba, H. (2022). Effect of freezing on the quality of breast meat from broilers affected by White Striping myopathy. *Poultry Science*, 101(2), 101607. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101607>
- Pla, M., & Dalle Zotte, A. (2000). Harmonisation of criteria and methods used in rabbit meat research. *World Rabbit Science*, 8, 539–545.

- Ramanathan, R., & Mancini, R. A. (2018). Role of mitochondria in beef color: A review. *Meat and Muscle Biology*, 2(1), 309. <https://doi.org/10.22175/mmb2018.05.0013>
- Ramos, E. M., & Gomide, L. A. (2017). *Avaliação da qualidade de carnes: fundamentos e metodologias*. Viçosa: Editora UFV.
- Ripoll, G., Alcalde, M. J., Horcada, A., & Panea, B. (2011). Suckling kid breed and slaughter weight discrimination using muscle colour and visible reflectance. *Meat Science*, 87(2), 151–156. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.10.006>
- Rodríguez-Calleja, J. M., García-López, M.-L., Santos, J. A., & Otero, A. (2005). Development of the aerobic spoilage flora of chilled rabbit meat. *Meat Science*, 70(2), 389–394. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.01.009>
- Saldanha, T., Mazalli, M. R., & Bragagnolo, N. (2004). Avaliação comparativa entre dois métodos para determinação do colesterol em carnes e leite. *Food Science and Technology*, 24(1), 109–113. <https://doi.org/10.1590/s0101-20612004000100020>
- Scherer, R., Augusti, P. R., Steffens, C., Bochi, V. C., Hecktheuer, L. H., Lazzari, R., & Emanuelli. (2005). Effect of slaughter method on postmortem changes of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) stored in ice. *Journal of Food Science*, 70(5), C348–C353.
- Stromer, M. H., Goll, D. E., & Roth, L. E. (1967). Morphology of rigor-shortened bovine muscle and the effect of trypsin on preand postrigor myofibrils. *J. Cell Biol*, 34.
- Sukumaran, A. T., Holtcamp, A. J., Campbell, Y. L., Burnett, D., Schilling, M. W., & Dinh, T. T. N. (2018). Technological characteristics of pre- and post-rigor deboned beef mixtures from Holstein steers and quality attributes of cooked beef sausage. *Meat Science*, 145, 71–78. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.06.001>
- Tavididishvili, D., Tsagareishvili, D., Khutsidze, T., Pkhakadze, M., & Kvirikashvili, L. (2019). The impact of freezing methods on functional and technological properties of semi-finished rabbit meat products. *Potravinarstvo*, 13(1), 665–674. <https://doi.org/10.5219/1142>
- Trocino, A., Xiccato, G., Queaque, P. I., & Sartori, A. (2003). Effect of transport duration and gender on rabbit carcass and meat quality. *World Rabbit Sci*, 11, 23–32.
- Turhan, S., Saricaoglu, F. T., Mortas, M., Yazici, F., & Genccelep, H. (2017b). Evaluation of color, lipid oxidation and microbial quality in meatballs formulated with bee pollen during frozen storage: Evaluation of quality of

meatballs with pollen. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(3), e12916. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12916>

- USDA. 2015. Usda.gov. Retrieved November 15, 2022, from <https://www.fsis.usda.gov/food-safety/safe-food-handling-and-preparation/meat/rabbit-farm-table#:~:text=Safe%20Storage%20Times&text=It%20is%20safe%20to%20freeze,year%3B%20pieces%20within%209%20months>
- Van Beers, R., Kokawa, M., Aernouts, B., Watté, R., De Smet, S., & Saeys, W. (2018). Evolution of the bulk optical properties of bovine muscles during wet aging. *Meat Science*, 136, 50–58. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.10.010>
- Vergara, H., Berruga, M. I., & Linares, M. B. (2005b). Effect of gas composition on rabbit meat quality in modified atmosphere packaging. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(12), 1981–1986. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2181>
- Vyncke, W. (1970). Direct determination of the thiobarbituric acid value in trichloroacetic acid extracts of fish as a measure of oxidative rancidity. *Fette, Seifen, Anstrichmittel*, 72(12), 1084–1087. <https://doi.org/10.1002/lipi.19700721218>
- Wang, H., Qin, Y., Li, J., Xu, X., & Zhou, G. (2019). Edible quality of soft - boiled chicken processing with chilled carcass was better than that of hot - fresh carcass. *Food Science & Nutrition*, 7(2), 797–804.
- Wang, Z., He, Z., Gan, X., & Li, H. (2018). Interrelationship among ferrous myoglobin, lipid and protein oxidations in rabbit meat during refrigerated and superchilled storage. *Meat Science*, 146, 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.08.006>
- Xiao, X., Hou, C., Zhang, D., Li, X., Ren, C., Ijaz, M., Hussain, Z., & Liu, D. (2020). Effect of pre- and post-rigor on texture, flavor, heterocyclic aromatic amines and sensory evaluation of roasted lamb. *Meat Science*, 169(108220), 108220. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108220>
- Yu, L. H., Lee, E. S., Jeong, J. Y., Paik, H. D., Choi, J. H., & Kim, C. J. (2005). Effects of thawing temperature on the physicochemical properties of pre-rigor frozen chicken breast and leg muscles. *Meat Science*, 71(2), 375–382. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.04.020>