



COLÁGENO E MACIEZ DA CARNE

BIOQUÍMICA, IMPORTÂNCIA E

TECNOLOGIAS PARA O

AMACIAMENTO



JOSÉ DILSON FRANCISCO DA SILVA
RENIUS DE OLIVEIRA MELLO

**COLÁGENO E MACIEZ DA CARNE:
Bioquímica, importância e
tecnologias para o amaciamento**

Todo o conteúdo apresentado neste livro é de responsabilidade do(s) autor(es).

Esta publicação está licenciada sob [CC BY-NC-ND 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Conselho Editorial

Prof. Dr. Ednilson Sergio Ramalho de Souza - Ufopa (Editor-Chefe)
Prof^a. Dr^a. Danjone Regina Meira - USP
Prof^a. Ms. Roberta Seixas - Unesp
Prof. Ms. Gleydson da Paixão Tavares - UESC
Prof^a. Dr^a. Monica Aparecida Bortolotti - Unicentro
Prof^a. Dr^a. Isabele Barbieri dos Santos - FIOCRUZ
Prof^a. Dr^a. Luciana Reusing - IFPR
Prof^a. Ms. Laize Almeida de Oliveira - UNIFESSPA
Prof. Ms. John Weyne Maia Vasconcelos - UFC
Prof^a. Dr^a. Fernanda Pinto de Aragão Quintino - SEDUC-AM
Prof^a. Dr^a. Leticia Nardoni Marteli - IFRN
Prof. Ms. Flávio Roberto Chaddad - SEESP
Prof. Ms. Fábio Nascimento da Silva - SEE/AC
Prof^a. Ms. Sandolene do Socorro Ramos Pinto - UFPA
Prof^a. Dr^a. Klenicy Kazumy de Lima Yamaguchi - UFAM
Prof. Dr. Jose Carlos Guimaraes Junior - Governo do Distrito Federal
Prof. Ms. Marcio Silveira Nascimento - UFRR
Prof. Ms. João Filipe Simão Kembo - Escola Superior Pedagógica do Bengo - Angola
Prof. Ms. Divo Augusto Pereira Alexandre Cavadas - FADISP
Prof^a. Ms. Roberta de Souza Gomes - NESPEFE - UFRJ
Prof. Ms. Valdimiro da Rocha Neto - UNIFESSPA
Prof. Dr. Jeferson Stiver Oliveira de Castro - IFPA
Prof. Ms. Artur Pires de Camargos Júnior - UNIVÁS
Prof. Ms. Edson Vieira da Silva de Camargos - Universidad de la Empresa (UDE) - Uruguai
Prof. Ms. Jacson Baldoino Silva - UEFS
Prof. Ms. Paulo Osni Silvério - UFSCar
Prof^a. Ms. Cecília Souza de Jesus - Instituto Federal de São Paulo

“Acreditamos que um mundo melhor se faz com a difusão do conhecimento científico”.

Equipe Home Editora

José Dilson Francisco da Silva
Renius de Oliveira Mello

**COLÁGENO E MACIEZ DA CARNE:
Bioquímica, importância e
tecnologias para o amaciamento**

1ª Edição

Belém-PA
Home Editora
2024

© 2024 Edição brasileira
by Home Editora

© 2024 Texto
by Autor

Todos os direitos reservados

Home Editora
CNPJ: 39.242.488/0002-80
www.homeeditora.com
contato@homeeditora.com
91988165332
Tv. Quintino Bocaiúva, 23011 - Ba-
tista Campos, Belém - PA, 66045-
315

Editor-Chefe

Prof. Dr. Ednilson Ramalho

Projeto gráfico

homeeditora.com

Revisão, diagramação e capa

Autor

Bibliotecária

Janaina Karina Alves Trigo Ramos

CRB-8/009166

Produtor editorial

Laiane Borges

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)



C683

Colágeno e maciez da carne: bioquímica, importância e tecnologias para o amaciamento / José Dilson Francisco da Silva, Renius de Oliveira Mello. – Belém: Home, 2024.

Livro em PDF
38p.

ISBN 978-65-6089-070-1

DOI 10.46898/home.8705e5a9-1cf6-491d-951a-415522ff087f

1. Colágeno e maciez da carne. I. Silva, José Dilson Francisco da. II. Mello, Renius de Oliveira.

CDD 630

Índice para catálogo sistemático

I. Ciências Agrárias.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	INTRODUÇÃO.....	7
CAPÍTULO II	BIOQUÍMICA, FUNÇÕES E DISTRIBUIÇÃO DO COLÁGENO NOS ANIMAIS.....	9
CAPÍTULO III	COLÁGENO E MACIEZ DA CARNE.....	14
CAPÍTULO IV	TECNOLOGIAS PARA O AMACIAMENTO DA CARNE.....	18
REFERÊNCIAS	28

APRESENTAÇÃO

A maciez é um dos principais indicadores da qualidade da carne, determinando sua aceitação e o valor comercial. O teor e o grau de organização do colágeno, presente nos músculos, influenciam esse atributo. Neste livro, o leitor será atualizado com novas evidências científicas sobre as propriedades bioquímicas do colágeno e como essa proteína influencia na maciez da carne. Processos tecnológicos convencionais e não convencionais, que visam à modificação do colágeno e à melhoria da maciez da carne, também são apresentados neste livro. Essas informações são importantes para estudantes, pesquisadores e profissionais interessados na cadeia de produção da carne e áreas correlatas.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

O colágeno é o maior grupo de proteínas da matriz extracelular dos animais, respondendo por cerca de um terço de todas as proteínas do organismo (GU et al., 2019; PAOLA et al., 2019; SCHUMACHER; MIZUNO; BÄCHINGER, 2006; SVENSSON et al., 2017). Como principal função biológica, o colágeno mantém a integridade dos tecidos e atribui resistência mecânica (DEPALLE et al., 2015; GELSE; PÖSCHL; AIGNER, 2003; PAOLA et al., 2019; SVENSSON et al., 2017). Essas propriedades refletem em atributos sensoriais da carne, especificamente na maciez. Sabe-se que esse atributo é um dos principais indicadores de qualidade da carne, que determinam sua aceitação e valor comercial (HOCQUETTE et al., 2014; O'QUINN et al., 2018).

A maciez da carne é o resultado da interação entre a dureza de actomiosina, causada pelas proteínas miofibrilares, e a dureza residual ou intrínseca, causada pelo tecido conjuntivo e colágeno (BOLUMAR et al., 2014; BOWKER et al., 2007). A dureza residual é mais relevante em carnes com alto teor e grau de organização do colágeno, mais difíceis de processar e de menor valor comercial (ALAHAKOON et al., 2019a; STARKEY et al., 2016; WARNER et al., 2017).

A correção da dureza da carne se faz por meio de métodos tradicionais de amaciamento, como processos de maturação, operações de corte, injeção de enzimas exógenas e de ácidos e uso de calor. Métodos não convencionais também estão sendo estudados, a exemplo do uso de ultrassom de baixa e de alta potência, ondas de choque, pressão hidrostática e campo elétrico pulsado. A maioria dessas novas tecnologias encontra-se em avaliação de viabilidade técnica e econômica (BHAT et al., 2018; BOLUMAR et al., 2014).

Este livro reúne dados sobre propriedades bioquímicas do colágeno e sua influência sobre a dureza da carne. Faz-se um apanhado de tecnologias utilizadas na reversão da dureza de carnes onde o colágeno apresenta influência.

CAPÍTULO II

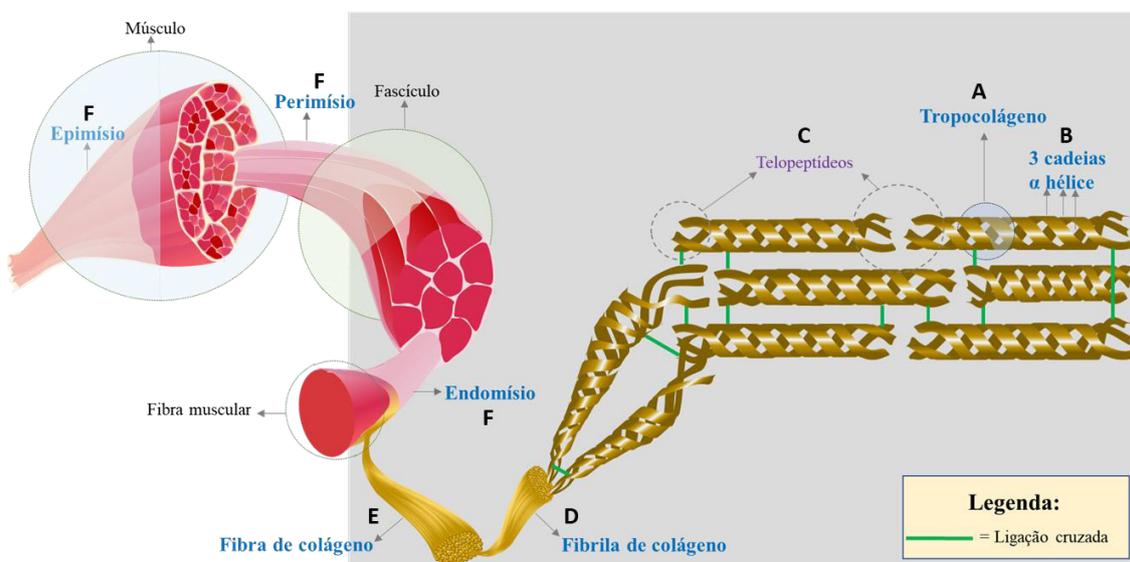
BIOQUÍMICA, FUNÇÕES E DISTRIBUIÇÃO DO COLÁGENO NOS ANIMAIS

1 BIOQUÍMICA, FUNÇÕES E DISTRIBUIÇÃO DO COLÁGENO NOS ANIMAIS

Colágeno é um termo genérico que define uma superfamília de proteínas da matriz extracelular dos animais, organizadas principalmente na forma de redes, fibras e fibrilas. O colágeno responde por cerca de um terço de todas as proteínas do organismo e é o componente majoritário da matriz extracelular dos tecidos, desempenhando função dominante na manutenção estrutural. Além disso, o colágeno participa de processos de adesão celular, quimiotaxia, migração celular, gênese e diferenciação dos tecidos e cicatrização de feridas (GU et al., 2019; PAOLA et al., 2019; SCHUMACHER; MIZUNO; BÄCHINGER, 2006; SVENSSON et al., 2017).

Os diferentes níveis de organização (molecular e supramolecular) do colágeno estão ilustrados na Figura 1.

Figura 1 – Representação gráfica demonstrando, da direita para a esquerda, os diferentes níveis hierárquicos do colágeno e como essas moléculas se reúnem para formar os tecidos conjuntivos do músculo



Fonte: os autores.

A unidade básica do colágeno, denominada tropocolágeno (Figura 1A), consiste em uma estrutura quaternária helicoidal resultante da associação de três subunidades peptídicas, as cadeias α (Figura 1B). Das extremidades do tropocolágeno, partem ramificações peptídicas não helicoidais denominadas telopeptídeo (Figura 1C), região essencial para a formação das diferentes estruturas supramoleculares de colágeno, como fibrilas, redes e fibras. Foram identificadas dezenas de cadeias α , que se diferem entre si quanto à estrutura primária e ao peso molecular. Apesar dessas diferenças, vale destacar algumas similaridades entre essas subunidades, que dão características únicas às moléculas de colágeno: a estrutura primária das cadeias α é formada por repetições do tripeptídeo Gly-Xaa-Yaa; dado o pequeno volume do resíduo de glicina (Gly), comparativamente aos demais aminoácidos, sua presença a cada terceira posição na cadeia α é essencial para possibilitar as junções no eixo central da estrutura helicoidal do tropocolágeno. Nas posições Xaa e Yaa, respectivamente, predominam resíduos de prolina e hidroxiprolina ou, eventualmente, resíduos de cisteína, tirosina, histidina e hidroxilisina. Nessas configurações, esses aminoácidos formam ligações de hidrogênio com resíduos de cadeias α vizinhas, dando estabilidade à tripla hélice do colágeno. Hidroxiprolina (Hyp) e hidroxilisina (Hyl) são aminoácidos unicamente encontrados no colágeno, formados via oxidação de prolina e lisina, respectivamente, após biossíntese (RADMER; KLEIN, 2006; SCHUMACHER; MIZUNO; BÄCHINGER, 2006).

No meio extracelular, moléculas de tropocolágeno polimerizam-se, formando as fibrilas (Figura 1D), que por sua vez, organizam-se em fibras (Figura 1E). Essas estruturas são estabilizadas por ligações cruzadas, que envolvem as regiões terminais dos tropocolágenos (os telopeptídeos) e aminoácidos laterais das seções helicoidais das cadeias α vizinhas. As fibras de colágeno são os principais componentes estruturais dos tecidos conjuntivos intramusculares (o endomísio, que envolve as fibras musculares, e o perimísio, que envolve feixes/fascículos de fibras musculares) e do epimísio, que envolve o músculo (Figura 1F). As

ligações cruzadas conferem estabilidade mecânica, térmica e química às fibrilas e às fibras de colágeno, evitando a desnaturação e o ataque enzimático nas condições fisiológicas. O número de ligações cruzadas (também denominado grau de reticulação do colágeno) está diretamente relacionado à estabilidade, rigidez e resistência às forças de tração (DUBOST et al., 2013; HEROD et al., 2016; SILVA et al., 2014). As principais ligações cruzadas na carne são as piridinolinas (hidroxilisilpiridinolina e desidroxilisilpiridinolina), razão pela qual são consideradas indicadores de reticulação do colágeno (DUBOST et al., 2013).

A capacidade de formar de fibrilas e fibras é uma característica dos colágenos tipo I, II, III, V, VI e XI, dos quais o tipo I é o mais abundante nos animais, representando cerca de 90% de todos os tipos de colágenos. As fibras de colágeno tipo I são numerosas em órgãos que necessitam de resistência biomecânica, como pele, ossos, dentes, ligamentos, cartilagem dos vasos sanguíneos, tendões e tecidos conjuntivos do músculo (DEPALLE et al., 2015; PAOLA et al., 2019; SVENSSON et al., 2017). O colágeno tipo II, segundo em fração no organismo, está localizado quase exclusivamente na cartilagem, dando estrutura, elasticidade e resistência mecânica (CHRISTGAU et al., 2001; CAO; XU, 2008). O tecido cartilaginoso é encontrado nas articulações, discos intervertebrais, costelas, osso esterno, nariz, traqueia e orelhas (KRISHNAN; GRODZINSKY, 2018).

O colágeno tipo III é um componente importante da matriz extracelular da pele e de uma variedade de órgãos internos. Ele está especialmente presente em tecidos que exibem propriedades elásticas, incluindo a derme, os vasos sanguíneos, o trato gastrointestinal, o útero, os pulmões e o fígado, onde representa até 30% do total de colágeno; constitui o arcabouço dos vasos sanguíneos e dos órgãos do sistema hematopoiético e linfático, como a medula óssea, o baço e os linfonodos, e dos vasos sanguíneos. O colágeno tipo III também está presente na membrana basal dos vasos sanguíneos, das fibras nervosas e das

células musculares (CALVI et al., 2012; D'HONDT et al., 2018; VOLK et al., 2014).

Alguns colágenos, mesmo em menor concentração ou com distribuição restrita no organismo, desempenham funções tão importantes quanto à dos anteriormente destacados. Por exemplo, o colágeno tipo IV, não formador de fibras, é o componente estrutural mais abundante da membrana basal, que sustenta os epitélios, conferindo-lhes resistência mecânica. Colágenos tipo IV, VI, VII, X, XIX, XXII, XXIV e XXVII participam de importantes processos biológicos de sinalização, integração e proliferação celular (MAK; MEI, 2017; RICARD-BLUM, 2011).

No sistema muscular, os colágenos tipo I e III são os principais componentes dos tecidos conjuntivos que envolvem músculos inteiros (epimísio), fâscículos ou feixes de fibras musculares (perimísio) e cada fibra muscular (endomísio). Ali, são responsáveis pela arquitetura, organização e resistência mecânica tecidual e pela transmissão das forças contráteis das miofibrilas até os tendões (MOHAMMADKHAH; MURPHY; SIMMS, 2018; PASSERIEUX et al., 2007; TAKAZA et al., 2014). Dos tendões, as fibras de colágeno tipo I transmitem para os ossos as forças de tração geradas no músculo, permitindo o movimento (HAZARD; MYERS; EHRLICH, 2011; HEROD et al., 2016).

CAPÍTULO III

COLÁGENO E MACIEZ DA CARNE

1 COLÁGENO E MACIEZ DA CARNE

A maciez da carne é um dos principais indicadores de qualidade, que determinam sua aceitação e valor comercial (HOCQUETTE et al., 2014; O'QUINN et al., 2018). Ela é o resultado da interação entre a dureza de actomiosina, causada pelas proteínas miofibrilares, e a dureza residual ou intrínseca, causada pelo tecido conjuntivo e colágeno (BOLUMAR et al., 2014; BOWKER et al., 2007). Enquanto a dureza de actomiosina é mais importante para cortes cárneos obtidos de animais mais jovens ou com baixo teor de colágeno, a dureza residual é mais relevante em cortes com alto teor e grau de organização do colágeno, mais difíceis de se processar e de menor valor comercial (ALAHAKOON et al., 2019a; BALDWIN, 2012; STARKEY et al., 2016; WARNER et al., 2017).

Cortes do quarto dianteiro da carcaça de bovinos, como pescoço (músculo *Trapezius*), peito (músculo *Rectus abdominis*), e paleta (músculo *Biceps femoris*) são bons exemplos onde o colágeno influencia fortemente na dureza (BERGE et al., 2001; HA et al., 2013; HUERTA-MONTAUTI et al., 2008). Compreender como o colágeno responde pela dureza nesses tipos de carne é importante para se prever a qualidade e otimizar operações de preparo e processamento visando-se melhorar a aceitação sensorial (BALDWIN, 2012; HOCQUETTE et al., 2014; WARNER et al., 2017).

A quantificação de colágeno é um bom indicador de maciez da carne. Os músculos que compõem a carcaça bovina apresentam concentrações específicas de colágeno, dadas as propriedades mecânicas e funcionais de cada um. Para o músculo *Psoas major* (filé mignon), o teor de colágeno ($1,52 \pm 0,17\%$) é menor que o observado nos músculos *Supraspinatus* (paleta) ($1,97 \pm 0,13\%$) e *Superficial pectoral* (costela) ($1,99 \pm 0,08\%$). Sabe-se que o filé mignon é um corte de alto valor agregado devido à maior maciez em relação a outros cortes cárneos, como os anteriormente citados (CHO et al., 2016). Altos níveis de tecido

conjuntivo intramuscular ajudam a explicar os maiores valores de força de cisalhamento observados em bifes do músculo *Semimembranosus* (coxão mole) quando comparado a bifes de *Longissimus thoracis* (lombo), estes mais macios (ZUCKERMAN et al., 2013). Christensen et al. (2011), analisando a textura do lombo, verificaram correlação negativa entre a maciez e o teor de colágeno total. Outros autores também relataram mesma tendência ao avaliar a textura dos músculos *Longissimus thoracis*, *Biceps femoris* (picanha) e *Semitendinosus* (lagarto). Entre estes, o menor teor de colágeno na picanha (*Biceps femoris*) contribuiu para explicar sua maior maciez em relação aos demais músculos (D'ALESSANDRO et al., 2012, NAKAMURA et al., 2010; HOCQUETTE et al., 2014; HILDRUM et al., 2009; STARKEY et al., 2016).

O teor de colágeno informa a quantidade total desta proteína em suas diversas formas (tropocolágeno, redes, fibrilas, fibras, solúvel, insolúvel, etc.) em uma amostra (DA SILVA; SPINELLI; RODRIGUES, 2015), entretanto não informa sobre o seu grau de organização (reticulação). Esta característica mede a quantidade de ligações cruzadas e organização do colágeno, portanto, é também indicador de maciez da carne. O grau de reticulação do colágeno na carne varia em função de fatores genéticos (espécie, raça, etc.), da idade, do manejo e entre músculos distintos (DUBOST et al., 2013; LEPETIT et al., 2007; ROY et al., 2015).

Comparado aos animais de sangue quente (bovinos, aves e suínos, por exemplo), o colágeno presente nos peixes contém menor quantidade de ligações cruzadas, razão pela qual o músculo desses animais apresenta estrutura mais delicada e de mais fácil cocção (HERNÁNDEZ-HERRERO et al., 2003). Entre os músculos *Longissimus thoracis*, *Semimembranosus* e *Biceps femoris*, o teor de ligações cruzadas (nM g⁻¹ em massa seca) varia, com valores de 19,0, 28,2 e 36,6, respectivamente (DUBOST et al., 2013). Quando maior a quantificação de ligações cruzadas no músculo, mais firmes e organizadas são suas estruturas e maior a sua estabilidade contra fatores externos (estresse mecânico,

aquecimento, pH, proteases e sais, por exemplo) (RINCÓN et al., 2016; ROY et al., 2015; ZUCKERMAN et al., 2013). Dubost et al. (2013) verificaram maior espessura do perimísio quando essas ligações cruzadas estavam presentes em maior quantidade na carne. A espessura do perimísio apresenta relação negativa com a maciez da carne equina (ROY et al., 2018), bovina (CHANG et al., 2015) e de frango (AN et al., 2010). Durante o preparo ou processamento, a dureza residual da carne pode ser corrigida por meio da modificação física ou química do colágeno e dos tecidos conjuntivos. Para esse fim, estratégias tecnológicas tradicionais e inovadoras são comentadas no capítulo a seguir.

CAPÍTULO IV

TECNOLOGIAS PARA O AMACIAMENTO DA CARNE

1 TECNOLOGIAS PARA O AMACIAMENTO DA CARNE

A correção da dureza de cortes cárneos se faz comumente por meio de métodos tradicionais de amaciamento, como processos de maturação, operações de corte, injeção de enzimas exógenas e de ácidos e uso de calor. O controle dessas operações é essencial para se obter produtos com textura aceitável pelo consumidor. Métodos não convencionais também estão sendo estudados, a exemplo do uso de ultrassom de baixa e de alta potência, ondas de choque, pressão hidrostática e campo elétrico pulsado. A maioria dessas tecnologias encontra-se em avaliação de viabilidade técnica e econômica (BHAT et al., 2018; BOLUMAR et al., 2014).

1.1 Tecnologias tradicionais

Após o abate do animal, a primeira etapa que induz à alteração do colágeno e resolução da dureza residual da carne é a etapa da maturação. Nesse processo, as proteases endógenas ganham papel fundamental ao clivarem múltiplas estruturas proteicas da carne, como proteínas sarcoplasmáticas, proteínas miofibrilares, proteínas da substância fundamental e fibrilas de colágeno (D'ALESSANDRO; ZOLLA, 2013; LI; ZHOU; XU, 2008). Colagenases e metaloproteínas são capazes de clivar tanto as ligações covalentes, na região dos telopeptídeos, quanto em regiões da tripla hélice, liberando cadeias α , que, por sua vez, podem ser hidrolisadas pelas catepsinas. A desintegração do colágeno por enzimas endógenas reduz a força mecânica do tecido conjuntivo da carne (NIAN et al., 2017; HERNÁNDEZ-HERRERO et al., 2003). Num estudo de maturação (28 dias) do músculo *Semitendinosus*, Li, Zhou e Xu (2008) verificaram uma melhoria na maciez deste músculo, que estava relacionada ao aumento do teor de colágeno solúvel, redução da espessura do perimísio e redução do diâmetro das fibras musculares.

Melhorias na maciez e aceitação desse corte carne foram alcançadas mantendo-o por 14 dias a 4° C (LI; ZHOU; XU, 2008), condições estas na faixa recomendada para processos convencionais de maturação (LI; ZHOU; XU, 2008; LI et al., 2013; NIAN et al., 2017).

É importante salientar que nem todos os músculos atingem o mesmo nível de amaciamento após o processo de maturação, devido às diferenças nos teores de colágeno, grau de reticulação e atividade enzimática (BERGE et al., 2001; CHINZORIG; HWANG, 2018; CHO et al., 2016). Menos de 10% da carcaça bovina corresponde a cortes carnes nobres, de baixa concentração e reticulação de colágeno. Os demais cortes (cerca de 90%), que incluem os do quarto dianteiro da carcaça, como pescoço, peito e paleta, necessitam ser submetidos a processos de amaciamento mais avançados (POLKINGHORNE et al., 2008; ZHU et al., 2018). Nesses cortes, o teor e o grau de reticulação do colágeno podem ser tão altos que a ação de proteases endógenas é insuficiente para melhorar a maciez, mesmo sob condições intensas de maturação. Nesses casos, a resolução da dureza pode ser realizada lançando-se mão de processos tecnológicos enzimáticos, químicos e físicos, associados ou não, como operações de corte, uso do calor, injeção de proteases exógenas e injeção de ácidos (BERGE et al., 2001; HA et al., 2013; HUERTA-MONTAUTI et al., 2008).

O tratamento da carne com proteases exógenas é um método comumente empregado no amaciamento da carne. Esse procedimento reforça a atividade proteolítica inata da carne, acelerando o processo de maturação. Para isso, tem-se utilizado principalmente enzimas proteolíticas de origem vegetal, como papaína, bromelina e ficina. Essas enzimas hidrolisam diversas estruturas proteicas da carne, inclusive o tecido conjuntivo (MOON, 2018; PIETRASIK; SHAND, 2011; PIETRASIK et al., 2010). A injeção, no músculo *Pectoralis profundus* (peito), de bromelina, de bromelina mais papaína ou de extrato de gengibre (um extrato enzimático alternativo) e posterior maturação (0 °C/24 h) resultou em diminuição da força de cisalhamento *Warner-Bratzler* em 36%, 40% e

37%, respectivamente, em comparação ao controle (músculo não tratado com preparação enzimática) (MOON, 2018). Apesar de ser um método popularmente efetivo para a aceleração da maturação de carnes, o uso de proteases merece controle para evitar a ocorrência de sabores e textura indesejáveis. Isso porque as enzimas atualmente disponíveis no mercado apresentam baixa especificidade, podendo hidrolisar indiscriminadamente as principais proteínas musculares (PIETRASIK; SHAND, 2011; PIETRASIK et al., 2010). Pesquisas têm focado na prospecção de novas enzimas com menores efeitos adversos e que, ao mesmo tempo, demonstrem semelhante estabilidade e viabilidade técnica e econômica (ANDEVARI et al., 2019; SUN et al., 2018; ZHAO et al., 2012).

Dentre os métodos químicos utilizados para amaciar a carne, destaca-se o uso de ácidos orgânicos, a exemplo dos ácidos acético, láctico e cítrico. Convencionalmente, esses ácidos são utilizados como ingredientes de salmouras, que podem ser aplicadas na carne, via imersão ou injeção. Ao difundirem na carne, os ácidos desestabilizam as fibras do colágeno, dissolvendo-o e reduzindo sua estabilidade térmica, solubiliza os tecidos conjuntivos e podem aumentar a atividade de proteases endógenas (AL-HAJO, 2009; BERGE et al., 2001; GOLI et al., 2014). Os ácidos reduzem o pH da carne, provocando o aumento das repulsões eletrostáticas e a quebra de ligações de hidrogênio nas fibras de colágeno. A dissolução dessas ligações desestabiliza as moléculas do colágeno, refletindo na solubilização dos tecidos conjuntivos (GOLI et al., 2014; MOON, 2018). Por outro lado, o uso de ácidos pode reduzir a capacidade de retenção de água na carne, quando há redução do pH para valores próximos ao ponto isoelétrico das proteínas da carne, resultando em perdas de suculência após o cozimento (GOLI et al., 2014). Outra limitação do uso desses compostos é a possível ocorrência de sabor ácido na carne, que pode levar à sua rejeição sensorial (KE et al., 2009).

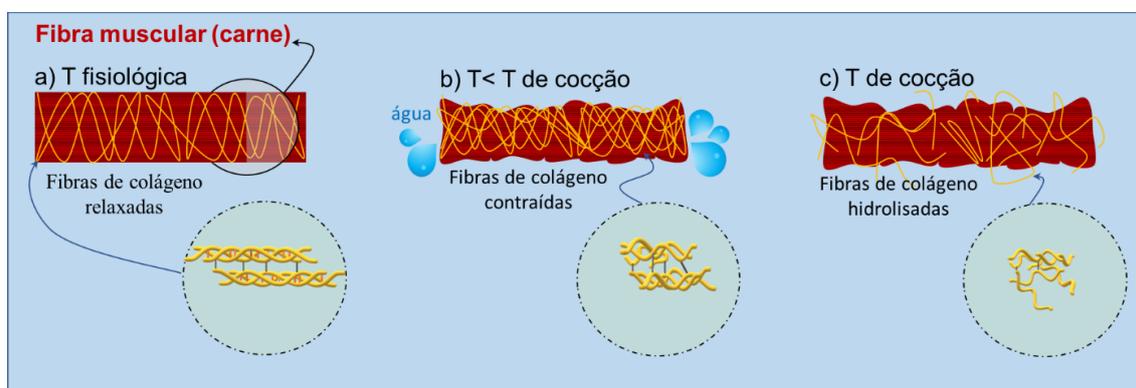
Os métodos mecânicos tradicionais incluem moagem, amaciamento com lâminas ou agulhas e tampleamento. A moagem é um

método de fácil operação e usado especialmente para cortes cárneos com alta resistência mecânica. Para o amaciamento de cortes de animais de idade avançada, essa solução tem sido uma alternativa economicamente rentável. No entanto, este procedimento pode reduzir o valor comercial do produto, já que a carne moída tem menor valor de mercado que a carne intacta (BOLUMAR et al., 2013). A tenderização ou amaciamento mecânico é uma das operações de amaciamento mais eficientes para melhorar a maciez de cortes cárneos duros. Nesse processo, um conjunto de agulhas ou lâminas estreitamente espaçadas com bordas afiadas perfuram a carne, rompendo as miofibrilas e o tecido conjuntivo, cortando-os em segmentos mais curtos (BHAT et al., 2018; PIETRASIK; SHAND, 2004; VANDENBERGHE-DESCAMPS et al., 2018). No tambleamento, cortes cárneos são massageados ao sofrerem quedas dentro de um tambor sob rotação. A energia envolvida na queda dos cortes contra as paredes do tambor induz à ruptura das miofibrilas, das fibras de colágeno, além da fragmentação do tecido conjuntivo. O massageamento da carne facilita o transporte de massa para o interior dos tecidos, melhorando a distribuição de temperos e de agentes de cura, inclusive dos ácidos e das proteases (DOLATA et al., 2004; CHENG et al., 2011; GAO et al., 2015; MOON et al., 2007; VILLALOBOS-DELGADO et al., 2014).

Embora populares e eficazes, os métodos mecânicos são operações invasivas e estão associados ao risco de contaminação da carne por patógenos e redução da vida de prateleira, devido ao aumento da superfície de contato da carne com o ambiente (CORLISS et al., 2015; HUANG, 2010; SMITH; FAZIL; LAMMERDING, 2013).

No amaciamento térmico, o calor causa alterações ao nível molecular do colágeno, como hidrólise de ligações cruzadas, quebra de ligações na estrutura helicoidal do tropocolágeno, desnaturação, alterações conformacionais, redução do diâmetro e encolhimento das fibras de colágeno. O efeito do calor sobre o colágeno é ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Efeito do calor sobre o colágeno; T = temperatura; a) moléculas do colágeno inatas; b) contração do colágeno devido à cocção; c) hidrólise do colágeno devido à cocção excessiva



Fonte: os autores.

A hidrólise de ligações no colágeno pelo calor inicia-se sob temperaturas imediatamente acima da temperatura fisiológica, com pequenas alterações conformacionais. Ao alcançarem temperaturas mais altas, em faixas acima de 60 °C a 65 °C, as moléculas de colágeno sofrem desnaturação. Essas temperaturas são alcançadas durante a cocção convencional ou em processos de pasteurização e esterilização da carne e de produtos cárneos. Nessas condições, o colágeno contrai-se intensamente, comprime as miofibrilas e provoca a expulsão da água, levando à desidratação da carne. Dependendo do grau de desidratação, a carne perde suculência (COMBES et al., 2004; BARBOSA-CÁNOVAS et al., 2014; SCUSSAT et al., 2017; TORNBERG, 2005). Sob temperaturas abaixo do intervalo de 60 °C a 65 °C, o grau de contração do colágeno é menor, com menores perdas de água pela carne e melhor conservação da suculência. Em detrimento da contração do colágeno, abaixo desse valor, ocorre a solubilização gradual do colágeno e redução do diâmetro das fibras de colágeno, com redução da dureza da carne. Esse é o fundamento do processo *long-time low-temperature* (LTLT), método de cocção sob temperaturas próximas de 60 °C por longo tempo, geralmente acima de 6 h. Uma variação do método LTLT é bastante difundida em cozinhas comerciais, o *sous vide*, onde o alimento é previamente embalado sob

vácuo (“sob vácuo” é a tradução de *sus vide* para o português) antes do processo de cocção (LARROTE et al., 2019; MITRA; RINNAN; RUIZ-CARRASCAL, 2017).

Embora o método *sous vide* seja uma técnica de cozimento muito difundida em cozinhas comerciais desde os anos 70, o processo é pouco explorado pela indústria de alimentos (AKOĞLU et al., 2018; NAVEENA et al., 2016). Além de promover a solubilização do colágeno, o longo tempo de processo sob baixas temperaturas favorece a ação de collagenases e outras proteases, algumas das quais apresentam atividade ótima nessas condições (CHRISTENSEN et al., 2011, ROLDÁN et al., 2013). Uma desvantagem do método é o tempo de processo, que requer normalmente períodos longos de cozimento, podendo chegar a 48 h (ALAHAKOON et al., 2019a; ALAHAKOON et al., 2019b). Tem-se questionado a segurança e estabilidade microbiológica do processo *sous vide*, considerando-se que, muitas vezes, não atinge temperaturas letais de micro-organismos patogênicos e deteriorantes. Sobre essas dúvidas, há necessidade de informações científicas conclusivas (ROLDÁN et al., 2013). Mesmo assim, ele é considerado um método com potencial a ser explorado pela indústria para a produção de alimentos prontos para consumo ou pré-cozidos, com suculência e maciez diferenciadas, partindo-se de cortes cárneos de baixo valor econômico (AKOĞLU et al., 2018; NAVEENA et al., 2016). Como exemplos, tem-se o caso do lançamento de novos produtos cárneos *sous vide*, de diferentes cortes, como ossobuco e costela suína, no mercado brasileiro nos últimos anos (COPETTI, 2021).

1.2 Tecnologias não convencionais

Nos últimos anos, tecnologias não convencionais para a redução da dureza residual da carne estão sendo estudadas, especialmente, ultrassom de baixa e de alta potência, ondas de choque, pressão hidrostática e campo elétrico pulsado. Essas tecnologias e mecanismos

de ação sobre o colágeno e tecido conjuntivo estão resumidos no Quadro 1.

Quadro 1 – Resumo de tecnologias não convencionais para a resolução da dureza residual da carne, destacando o seu provável mecanismo de ação sobre o colágeno.

Tecnologia	Ação sobre o colágeno	Referências
Ultrassom de alta e baixa potência	Efeito de cavitação causa: alteração na estrutura de colagenases e ruptura da estrutura do colágeno; aumento na transferência de massa e no movimento de substratos para o sítio ativo de enzimas; ruptura de células, liberando proteases; alteração do sítio ativo, resultando em ativação enzimática.	Barekat; Soltanizadeh (2017) Barekat; Soltanizadeh (2018) Peña-Gonzalez et. al. (2017) Peña-Gonzalez et al. (2019)
Ondas de choque	O impacto de ondas de choque sobre os tecidos libera energia suficiente para romper as estruturas do colágeno; há enfraquecimento e desintegração do tecido conjuntivo.	Bolumar et al. (2014) Warner et al. (2017) Zuckerman et al. (2013)
Campo elétrico pulsado (PFE)	O fenômeno de eletroporação sobre os tecidos e membranas celulares, causa enfraquecimento dos tecidos conjuntivos musculares e liberação de enzimas proteolíticas; o campo elétrico gerado no tratamento com PFE reduz o número de ligações de hidrogênio e de ligações cruzadas, resultando em degeneração progressiva estrutural das fibras do colágeno.	Alahakoon et al. (2019a) Alahakoon et al. (2019b)

O uso desses métodos apresenta algumas vantagens, como possibilidade de processamento a frio, não são invasivos e agem de forma homogênea sobre a carne. Dentre as desvantagens, destaca-se a necessidade de plantas de processamento sofisticadas, com equipamentos de alto custo, alguns deles ainda de baixa eficiência energética. A maioria dessas tecnologias encontra-se em fase de

otimização e de avaliação de viabilidade técnica e econômica (BHAT et al., 2018; BOLUMAR et al., 2014). É improvável que essas novas tecnologias possam substituir totalmente os métodos tradicionais de amaciamento da carne. A tendência é que sejam utilizadas em combinação com processos tradicionais (WARNER et al., 2017). Barekat e Soltanizadeh (2018), propuseram um processo de amaciamento enzimático por imersão do músculo *Longissimus lumborum* em solução de papaína 0,1%, assistido com ultrassom (20 kHz; 100 W; 20 min). O uso do ultrassom aumentou a atividade enzimática da papaína e facilitou sua penetração para o interior da carne, resultando em um produto mais macio. Os autores justificam esse ganho ao efeito de cavitação, o qual promove o aumento da transferência de massa e maior difusibilidade de componentes em solução. Em trabalho anterior, esses pesquisadores também reportam mudanças estruturais na papaína induzidas pelo ultrassom, que podem aumentar sua atividade e estabilidade (BAREKAT; SOLTANIZADEH, 2017).

Peña-Gonzalez et al. (2017) avaliaram o emprego do ultrassom (40 kHz, 11 Wcm⁻², 60 min) posteriormente à etapa de maturação do músculo *Longissimus dorsi* por 7 ou 14 dias a 4°C. Os autores concluíram que essa associação intensifica mudanças na força de cisalhamento, aumentando a percepção da maciez e da suculência da carne. A carne sonicada após a maturação apresentou maior espaçamento entre as fibras musculares e aumento da degradação do tecido conjuntivo, comparativamente àquela apenas maturada, provavelmente devido aos efeitos mecânicos do processo de cavitação (PEÑA-GONZALEZ et al., 2019).

Alahakoon et al. (2019a) estudaram o uso prévio de processamento da carne com diferentes intensidades de campos elétricos pulsados (PFE) antes do cozimento LTLT. Os autores verificaram que o pré-tratamento da carne com 0,7 kV cm⁻¹ reduziu o processamento LTLT, de 24 h para 12 a 20,2 h, sem efeitos negativos sobre a oxidação lipídica, estabilidade de cor e rendimento. O campo elétrico gerado no tratamento com PFE

reduz o número de ligações de hidrogênio e de ligações cruzadas do colágeno, resultando em degeneração progressiva estrutural das fibras desta proteína. A quebra dessas ligações aumenta a solubilidade do colágeno durante o tratamento térmico e, conseqüentemente, acelera o cozimento da carne. Além disso, PFE causa eletroporação das redes de colágeno e das membranas biológicas, enfraquecendo os tecidos e intensificando a liberação de enzimas proteolíticas, respectivamente (ALAHAKOON et al., 2019a; ALAHAKOON et al., 2019b).

A combinação de ondas de choque a um processo tradicional de maturação da carne também foi vista como metodologia promissora para aumentar a maciez dos músculos *Semimembranosus* (ZUCKERMAN et al., 2013) e *Longissimus lumborum* (BOLUMAR et al., 2014) e reduzir o tempo de maturação. Cortes do músculo *Semimembranosus* tratados com ondas de choque eram mais macios que o controle (BOLUMAR et al., 2014), com redução da força de cisalhamento em cerca de 18%. *Longissimus lumborum* exposto a ondas de choque apresentou maior maciez, cerca de 37%, em comparação ao corte controle (lombo pré-maturado por 7 dias). Mesmo com o aumento do tempo de maturação do controle, de 7 para 21 dias, não foi alcançada aquela maciez, indicando que o uso de ondas de choque tem o potencial de encurtar o tempo de maturação e, assim, reduzir consideravelmente os custos de tecnologias de amaciamento da carne (ZUCKERMAN et al., 2013).

REFERÊNCIAS

AKOĞLU, I. T. et al. Determination of the quality and shelf life of sous vide soaked turkey tutlet stored at 4 and 12°C. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 20, n. 1, p. 1-8, jan./mar., 2018.

ALAHAKOON, A. U. et al. Process optimisation of pulsed electric fields pre-treatment to reduce the sous vide processing time of beef briskets. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 54, p. 823–834, mar., 2019a.

ALAHAKOON, A. U. et al. Quality and safety considerations of incorporating post-PEF ageing into the pulsed electric fields and sous vide processing chain. **Food and Bioprocess Technology**, v. 12, n. 5, p. 852–864, mai., 2019b.

AL-HAJJO, N. A. N. Tenderize chicken breast meat by using different methods of curing. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 8, p. 1180-1183, 2009.

AN, J. Y. et al. Effect of myofiber characteristics and thickness of perimysium and endomysium on meat tenderness of chickens. **Poultry Science**, v. 89, n. 8, p. 1750–1754, ago., 2010.

ANDEVARI, G. et al. Extraction, partial purification and characterization of alkaline protease from rainbow trout (*Oncorhynchus Mykiss*) viscera. **Aquaculture**, v. 500, p. 458-463, fev., 2019.

BALDWIN, D. Sous vide cooking: A review. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 1, n. 1, p. 15-30, jan., 2012.

BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. et al. Advanced retorting, microwave assisted thermal sterilization (MATS), and pressure assisted thermal sterilization (PATS) to process meat products. **Meat Science**, v. 98, n. 3, p. 420-434, nov., 2014.

BAREKAT, S.; SOLTANIZADEH, N. Improvement of meat tenderness by simultaneous application of high-intensity ultrasonic radiation and papain treatment. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 39, p. 223-229, fev., 2017.

BAREKAT, S.; SOLTANIZADEH, N. Effects of ultrasound on microstructure and enzyme penetration in beef *Longissimus lumborum* muscle. **Food and Bioprocess Technology**, v. 11, n. 3, p. 680–693, mar., 2018.

BHAT, Z. F. et al. Applied and emerging methods for meat tenderization:... **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v.17, p. 841-859, 2018.

BERGE, P. et al. Tenderization of beef by lactic acid injected at different times post mortem. **Meat Science**, v. 57, n. 4, p. 347-357, abr., 2001.

BOLUMAR, T. Effect of electrohydraulic shockwave treatment on tenderness, muscle cathepsin and peptidase activities and microstructure of beef loin steaks from holstein young bulls. **Meat Science**, v. 98, n. 4, p. 759-765, dez., 2014.

BOLUMAR, T. et al. Effect of electrohydraulic shockwave treatment on tenderness, muscle cathepsin and peptidase activities and microstructure of beef loin steaks... **Meat Science**, v. 98, n. 4, p. 759-765, dez., 2014.

BOWKER, B. C. et al. Effects of hydrodynamic pressure processing and blade tenderization on intramuscular collagen and tenderness-related protein characteristics of top rounds from Brahman cattle. **Journal of Muscle Foods**, v. 18, n. 1, p. 35-55, jan., 2007.

CAO, H.; XU, S.-Y. Purification and characterization of type II collagen from chick sternal cartilage. **Food Chemistry**, v. 108, p. 439–445, 2008.

CALVI, E. N. de C. et al. An experimental model for the study of collagen fibers in skeletal muscle. **Acta Cirurgica Brasileira**, v. 27, n, 10, p. 681 - 686, 2012.

CHANG, H.-J. et al. Effects of ultrasound treatment on connective tissue collagen and meat quality of beef Semitendinosus Muscle. **Journal of Food Quality**, v. 38, p. 256–267, jul., 2015.

CHENG, J.-H. et al. Effect of phosphate, ascorbic acid and α -tocopherol injected at one-location with tumbling on quality of roast beef. **Meat Science**, v. 87, n. 3, p. 223-228, mar., 2011.

CHO, S. et al. Effect of Aging Time on Physicochemical Meat Quality and Sensory Property of Hanwoo Bull Beef. **Korean Journal for Food Science of Animal Resources**, v. 36, n. 1, p. 68–76, 2016.

CHINZORIG, C.; HWANG, I. Mechanical texture profile of Hanwoo muscles as a function of heating temperatures. **Journal of Animal Science and Technology**, v 60, n. 22, p. 1-7, set., 2018.

CHRISTENSEN, L. et al. Effect of prolonged heat treatment from 48 °C to 63 °C on toughness, cooking loss and color of pork. **Meat Science**, v. 88, n. 2, p. 280-285, jun., 2011.

CHRISTGAU, S. et al. Collagen type II C-telopeptide fragments as an index of cartilage degradation. **Bone**, v. 29, n. 3, p. 209-215, set., 2001.

COMBES, S. et al. Effect of cooking temperature and cooking time on Warner–Bratzler tenderness measurement and collagen content in rabbit meat. **Meat Science**, v. 66, n. 1, p. 91-96, jan., 2004.

COPETTI, T. **Pratos prontos premium Sadia Speciale chegam à região Sul.** Consumidor.RS, 2021. Disponível em: <http://consumidorbr.com.br/2013/inicial.php?case=2&idnot=62808>. Acesso em: 10/04/2024.

CORLISS, B. et al. The influence of beef quality characteristics on the internalization and thermal susceptibility of Shiga toxin-producing Escherichia coli (STEC) in blade-tenderized beef steaks. **Meat Science**, v. 110, p. 85-92, dez., 2015.

D'ALESSANDRO, A. et al. Chianina beef tenderness investigated through integrated Omics. **Journal of Proteomics**, v. 75, n. 14, p. 4381-4398, jul., 2012.

D'ALESSANDRO, A.; ZOLLA, L.; Meat science: From proteomics to integrated omics towards system biology. **Journal of Proteomics**, v. 78, p. 558-577, jan., 2013.

DA SILVA, C. M. L.; SPINELLI, E.; RODRIGUES, S. V. Fast and sensitive collagen quantification by alkaline hydrolysis/hydroxyproline assay. **Food Chemistry**, v. 173, p. 619-623, abr., 2015.

DEPALLE, B. et al. Influence of cross-link structure, density and mechanical properties in the mesoscale deformation mechanisms of collagen fibrils. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 52, p. 1-13, dez., 2015.

D'HONDT, S. et al. Type III collagen affects dermal and vascular collagen fibrillogenesis and tissue integrity in a mutant Col3a1 transgenic mouse model. **Matrix Biology**, v. 70, p. 72-83, set., 2018.

DOLATA, W. et al. The use of the MRI technique in the evaluation of water distribution in tumbled porcine muscle. **Meat Science**, v. 67, n. 1, p. 25-31, mai., 2004.

DUBOST, A. et al. Relationships between structural characteristics of bovine intramuscular connective tissue assessed by image analysis and collagen and proteoglycan content. **Meat Science**, v. 93, n. 3, p. 378-386, mar., 2013.

GAO, T. et al. Effect of Different Tumbling Marination Treatments on the Quality Characteristics of Prepared Pork Chops. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 28, n. 2, p. 260-267, fev., 2015.

GOLI, T. et al. Influence of sodium chloride and pH during acidic marination on water retention and mechanical properties of turkey breast meat. **Meat Science**, v. 96, n. 3, p. 1133-1140, mar., 2014.

GU, L. et al. Novel biomedical applications of crosslinked collagen. **Trends in Biotechnology**, v. 37, n. 5, p. 464-491, mai., 2019.

HA, M. et al. Characterisation of kiwifruit and asparagus enzyme extracts, and their activities toward meat proteins. **Food Chemistry**, v. 136, n. 2, p. 989-998, 2013.

HAZARD, S. W.; MYERS, R. L.; EHRLICH, H. P. Demonstrating collagen tendon fibril segments involvement in intrinsic tendon repair. **Experimental and Molecular Pathology**, v. 91, n. 3, p. 660-663, dez., 2011.

HERNÁNDEZ-HERRERO, M. M. Collagenase activity and protein hydrolysis as related to spoilage of iced cod (*Gadus morhua*). **Food Research International** v. 36, 141-147, 2003.

HEROD, T. W. et al. Collagen fibrils in functionally distinct tendons have differing structural responses to tendon rupture and fatigue loading. **Acta Biomaterialia**, v. 42, p. 296-307, set., 2016.

HILDRUM, K. I. et al. Classification of different bovine muscles according to sensory characteristics and Warner Bratzler shear force. **Meat Science**, v. 83, n. 2, p. 302-307, out., 2009.

HOCQUETTE, J.-F. et al. Modelling of beef sensory quality for a better prediction of palatability. **Meat Science**, v. n. 3, p. 316-322, jul., 2014.

HUANG, L. Growth kinetics of Escherichia coli O157:H7 in mechanically-tenderized beef. **International Journal of Food Microbiology**, v. 140, n. 1, p. 40-48, mai., 2010.

HUERTA-MONTAUTI, D. et al. Identifying muscle and processing combinations suitable for use as beef for fajitas. **Meat Science**, v. 80, n. 2, p. 259-271, out., 2008,

KE, S. et al. Impact of citric acid on the tenderness, microstructure and oxidative stability of beef muscle. **Meat Science**, v. 82, n. 1, p. 113-118, mai., 2009.

KRISHNAN, Y.; GRODZINSKY, A. J. Cartilage diseases. **Matrix Biology**, v. 71-72, p. 51-69, out., 2018.

LARROTE, M. E. et al. Specific effects on strength and heat stability of intramuscular connective tissue during long time low temperature cooking. **Meat Science**. v. 153, p. 109-116, jul., 2019.

MAK, K. M.; MEI, R. Basement Membrane Type IV Collagen and Laminin: An Overview of Their Biology and Value as Fibrosis Biomarkers of Liver Disease. **The Anatomical Record**, v. 300, p.1371–1390, fev., 2017.

MITRA, B.; RINNAN, R.; RUIZ-CARRASCAL, J. Tracking hydrophobicity state, aggregation behaviour and structural modifications of pork proteins under the influence of assorted heat treatments. **Food Research International**, v. 101, p. 266-273, nov., 2017.

MOHAMMADKHAH, M.; MURPHY, P.; SIMMS, C. K. Collagen fibril organization in chicken and porcine skeletal muscle perimysium under applied tension and compression. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 77, p. 734-744, jan., 2018.

MOON, S. S. et al. The effect of tumbling time on the quality and binding ability of restructured beef *M. Pectoralis profundus* with alginate binder. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 20, n. 3, p. 418 - 423, mar., 2007.

MOON, S. S. Effect of proteolytic enzymes and ginger extract on tenderization of *M. pectoralis profundus* from holstein steer. **Korean Journal for Food Science of Animal Resources**, v. 38, n. 1, p. 143–151, fev., 2018.

NAVEENA, B. M. et al. Effect of sous vide processing on physicochemical, ultrastructural, microbial and sensory changes in vacuum packaged chicken sausages. **Food Science and Technology International**, v. 23, n. 1, p. 75–85, jun., 2016.

NAKAMURA, Y.-N. et al. Histological contribution of collagen architecture to beef toughness. **Journal of Food Science**, v. 75, n. 1, p. E73-E77, jan., 2010.

NIAN, Y. et al. Assessment of physico-chemical traits related to eating quality of young dairy bull beef at different ageing times using Raman spectroscopy and chemometrics. **Food Research International**, v. 99, p. 778-789, set., 2017.

LEPETIT, J. A theoretical approach of the relationships between collagen content, collagen cross-links and meat tenderness. **Meat Science**, v. 76, n. 1, p. 147-159, mai., 2007.

LI, X. et al. Meat quality, microbiological status and consumer preference of beef gluteus medius aged in a dry ageing bag or vacuum. **Meat Science**, v. 95, n. 2, p. 229-234, out., 2013.

LI, C.; ZHOU, G.; XU, X. Changes of meat quality characteristics and intramuscular connective tissue of beef semitendinosus muscle during postmortem aging for Chinese Yellow bulls. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 43, p. 838–845, fev., 2008.

O'QUINN, T. G. et al. Evaluation of the contribution of tenderness, juiciness, and flavor to the overall consumer beef eating experience. **Translational Animal Science**, v. 2, n. 1, p. 26–36, fev., 2018.

PAOLA, C. M. et al. Functional textile finishing of type I collagen isolated from bovine bone for potential healthtech. **Heliyon**, v. 5, n. 2, p. 1-15, fev., 2019.

PASSERIEUX, E. et al. Physical continuity of the perimysium from myofibers to tendons: Involvement in lateral force transmission in skeletal muscle. **Journal of Structural Biology**, v. 159, n. 1, p. 19-28, jul., 2007.

PEÑA-GONZALEZ, A. et al. Quality and sensory profile of ultrasound-treated beef. **Italian Journal of Food Science**, v. 29, n. 3, p. 463-475, 2017.

PEÑA-GONZALEZ, E. et al. Ultrasound as a potential process to tenderize beef: Sensory and technological parameters. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. p. 134-141, mai., 2019.

PIETRASIK, Z.; SHAND, P. J. Effect of blade tenderization and tumbling time on the processing characteristics and tenderness of injected cooked roast beef. **Meat Science**, v. 66, n. 4, p. 871-879, abr., 2004.

PIETRASIK, Z. et al. Influence of blade tenderization, moisture enhancement and pancreatin enzyme treatment on the processing characteristics and tenderness of beef semitendinosus muscle. **Meat Science**, v. 84, n. 3, p. 512-517, mar., 2010.

POLKINGHORNE, R. et al. Development of a commercial system to apply the Meat Standards Australia grading model to optimise the return on eating quality in a beef supply chain. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 48, n. 11, p. 1451-1458, out., 2008.

RADMER, R. J.; KLEIN, T. E. Triple helical structure and stabilization of collagen-like molecules with 4(R)-hydroxyproline in the Xaa position. **Biophysical Journal**, v. 90, n. 2, p. 578-588, jan., 2006.

RICARD-BLUM, S. The Collagen Family. **Cold Spring Harbor Perspectives in Biology**, v. 3, n. 1, p. 1-19, jan., 2011.

RINCÓN, L. et al. Differences in proximal and fatty acid profiles, sensory characteristics, texture, colour and muscle cellularity between wild and farmed blackspot seabream (*Pagellus bogaraveo*). **Aquaculture**, v. 451, p. 195-204, jan., 2016.

ROLDÁN, M. et al. Effect of different temperature–time combinations on physicochemical, microbiological, textural and structural features of sous-vide cooked lamb loins. **Meat Science**, v. 93, n. 3, mar., 2013.

ROY, B. C. et al. Modification of mature non-reducible collagen cross-link concentrations in bovine m. gluteus medius and semitendinosus with steer age at slaughter, breed cross and growth promotants. **Meat Science**, v. 110, p. 109-117, dez., 2015.

ROY, B. C. et al. Role of myofibers, perimysium and adipocytes in horse meat toughness. **Meat Science**, v. 146, p. 109-121, dez., 2018.

SCHUMACHER, M. A.; MIZUNO, K.; BÄCHINGER, H. P. The crystal structure of a collagen-like polypeptide with 3(S)-hydroxyproline residues in the Xaa position forms a standard 7/2 collagen triple helix. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 281, n. 37., p. 27566 –27574, set., 2006.

SCUSSAT, S. et al. The impact of cooking on meat microstructure studied by low field NMR and Neutron Tomography. **Food Structure**, v. 14, p. 36–45, out., 2017.

SILVA, T. H. et al. Marine Origin Collagens and Its Potential Applications. **Mar Drugs**, v. 12, n. 12, p. 5881–5901, dez., 2014.

SMITH, B. A.; FAZIL, A.; LAMMERDING, A. M. A risk assessment model for Escherichia coli O157:H7 in ground beef and beef cuts in Canada: Evaluating the effects of interventions. **Food Control**, v. 29, n. 2, p. 364-381, fev., 2013.

STARKEY, C. P. et al. Do sarcomere length, collagen content, pH, intramuscular fat and desmin degradation explain variation in the tenderness of three ovine muscles? **Meat Science**, v. 113, p. 51-58, mar., 2016.

SVENSSON, R. B. et al. Evidence of structurally continuous collagen fibrils in tendons. **Acta Biomaterialia**, v. 50, n. 1, p. 293-301, 2017.

SUN, Q. et al. A novel aspartic protease from *Rhizomucor miehei* expressed in *Pichia pastoris* and its application on meat tenderization and preparation of turtle peptides. **Food Chemistry**, v. 245, p. 570-577, abr., 2018.

TAKAZA, M et al. Assessing the microstructural response to applied deformation in porcine passive skeletal muscle. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 40, p. 115-126, dez., 2014.

TORNBERG, E. Effects of heat on meat proteins – Implications on structure and quality of meat products. **Meat Science**, v. 70, n 3, p. 493-508, jul., 2005.

VANDENBERGHE-DESCAMPS, M. et al. Impact of blade tenderization, marinade and cooking temperature on oral comfort when eating meat in an elderly population. **Meat Science**, v. 145, p. 86-93, nov., 2018.

VILLALOBOS-DELGADO, L. H. et al. Quality characteristics of a dry-cured lamb leg as affected by tumbling after dry-salting and processing time. **Meat Science**, v. 97, n. 1, p. 115-122, mai., 2014.

VOLK, S. W. et al. Type III collagen regulates osteoblastogenesis and the quantity of trabecular bone. **Calcified Tissue International**, v. 94, n. 6, p. 621–631, jun., 2014.

WARNER, R. D. et al. Systematic review of emerging and innovative technologies for meat tenderisation. **Meat Science**, v. 132, p. 72-89, 2017.

ZHAO, G.-Y. et al. Tenderization effect of cold-adapted collagenolytic protease MCP-01 on beef meat at low temperature and its mechanism. **Food Chemistry**, v. 134, n. 4, p. 1738-1744, out., 2012.

ZHU, X. et al. Actinidin pretreatment and sous vide cooking of beef brisket: Effects on meat microstructure, texture and in vitro protein digestibility. **Meat Science**, v. 145, p. 256-265, nov., 2018.

ZUCKERMAN, H. et al. Microstructure alterations in beef intramuscular connective tissue caused by hydrodynamic pressure processing. **Meat Science**, v. 95, n. 3, p. 603-607, nov., 2013.

SOBRE OS AUTORES

José Dilson Francisco da Silva: Doutor em Ciência e Tecnologia dos Alimentos - ênfase em tecnologia de produtos cárneos – pela Universidade Federal de Santa Maria, UFSM. Atualmente, é químico e pesquisador na UFSM, onde atua em áreas da química analítica e ciência e tecnologia de alimentos de origem animal.

Renius de Oliveira Mello: Doutor em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa, UFV. Atualmente é docente e pesquisador na UFSM, na área de análise de alimentos e estatística. Tem experiência em nutrição e produção de ruminantes, atuando principalmente nos seguintes temas: avaliação de alimentos e qualidade de carne.

COLÁGENO E MACIEZ DA CARNE: Bioquímica, importância e tecnologias para o amaciamento

A maciez é um dos principais indicadores de qualidade da carne, determinando a aceitação e o valor comercial. O teor e o grau de organização do colágeno, presente nos músculos, influenciam esse atributo. Neste livro, o leitor será atualizado com novas evidências científicas sobre as propriedades bioquímicas do colágeno e como essa proteína influencia na maciez da carne. Processos tecnológicos convencionais e não convencionais, que visam à modificação do colágeno e à melhoria da maciez da carne, também são apresentados neste livro. Essas informações são importantes para estudantes, pesquisadores e profissionais interessados na cadeia de produção da carne e áreas correlatas.

Home Editora
CNPJ: 39.242.488/0002-80
www.homeeditora.com
contato@homeeditora.com
91988165332
Tv. Quintino Bocaiúva, 23011 - Batista
Campos, Belém - PA, 66045-315

