

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Influência do pH final e do tempo de estocagem sob congelamento na qualidade de bifes *Longissimus dorsi* de bovinos Nelore (*Bos indicus*)

Milagros Maribel Coaguila Gonza

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Ciência e
Tecnologia de Alimentos

Piracicaba
2022

Milagros Maribel Coaguila Gonza
Engenheiro Agroindustrial

Influência do pH e do tempo de estocagem sob congelamento na qualidade de bifes
Longissimus dorsi de bovinos Nelore (*Bos indicus*)

Orientadora:

Profa. Dra. **CARMEN JOSEFINA CONTRERAS CASTILLO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Ciência e
Tecnologia de Alimentos

Piracicaba
2022

RESUMO

Influência do pH final e do tempo de estocagem sob congelamento na qualidade de bifes *Longissimus dorsi* de bovinos Nelore (*Bos indicus*)

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do pH final (pH_f) e do tempo de estocagem sob congelamento nos parâmetros de qualidade da carne como a maciez, perdas de água, solubilidade das proteínas, oxidação de proteínas e lipídios, parâmetros instrumentais da cor (L*, a*, b*, C* e h*), e formas químicas da mioglobina na carne de bovinos machos das raças Nelore não-castrados. No frigorífico foram abatidos 24 bovinos, selecionadas 8 músculos *Longissimus dorsi* para cada faixa de pH_f [pH_f, normal ($\leq 5,79$), intermediário (5,80 a 6,19) e alto ($\geq 6,20$)]. As carnes foram maturadas durante 14 dias e após este período foram armazenados a -20°C durante 3, 6, 9 e 12 meses. A carne com pH_f alto apresentou menor valor da força de cisalhamento, perda de água e solubilidade proteica a partir do dia zero ($P < 0,05$), que as amostras com pH_f normal e intermediário. Houve maior perda de água e o valor de força de cisalhamento foi diminuindo com o aumento do período de estocagem sob congelamento para as carnes com três faixas de pH_f, enquanto a contagem microbiológica permaneceu abaixo dos limites máximos estabelecidos nos 12 meses. Os bifes congelados durante 9 e 12 meses apresentaram uma diminuição significativa nos valores de metamioglobina, deoximioglobina e luminosidade (L*) e um aumento nos valores de oximioglobina, índices de vermelho (a*), amarelo (b*), saturação (C*), ângulo de tonalidade (h*) e oxidação proteica e lipídica ($P < 0,05$), simultaneamente. A carne com pH_f normal apresentou maiores valores nos parâmetros da cor (L*, a*, b*, C* e h*) e maior porcentual da oximioglobina ($P < 0,05$) em todos os períodos de estocagem, e não houve diferenças significativas na oxidação proteica nas três faixas de pH final em todos os períodos de estocagem. Estas observações sugerem que a estocagem sob congelamento por longos períodos, juntamente com um período de maturação de 14 dias antes do congelamento, podem favorecer a maciez, a formação da oximioglobina e também a intensificação da cor da carne.

Palavras-chave: Congelamento, Força de cisalhamento, Tempo de estocagem, pH final, Cor

ABSTRACT

Influence of ultimate pH and freezing storage time on the quality of *Longissimus dorsi* steaks from Nelore (*Bos indicus*) cattle

The objective of this study was to evaluate the influence of ultimate pH (pH_u) and freezing storage time on quality parameters of meat such as tenderness, water loss, protein solubility, protein and lipid oxidation, instrumental color parameters (L*, a*, b*, C* and h*), and myoglobin chemical forms in meat from non-castrated male Nelore cattle. In the slaughterhouse, 24 cattle were slaughtered, and eight *Longissimus dorsi* muscles were selected for each pH_u range [pH_u, normal (≤ 5.79), intermediate (5.80 to 6.19) and high (≥ 6.20)]. The meats were matured for 14 days and after this period they were stored at -20°C for 3, 6, 9, and 12 months. The meat with high pH_u showed lower values of shear force, water loss and protein solubility from day zero on ($P < 0.05$), than the samples with normal and intermediate pH_u. The meat with high pH_u showed lower shear force, water loss and protein solubility values from day zero on ($P < 0.05$) than samples with normal and intermediate pH_u. There was a higher water loss and the value of shear force decreased with the increase on storage time under freezing for meat with the three pH_u ranges, while the microbiological count remained below the maximum limits established at 12 months. The steaks frozen for 9 and 12 months showed a significant decrease in the values of metmyoglobin, deoxymyoglobin, and luminosity (L*), and an increase in the values of oxymyoglobin, red (a*), yellow (b*), saturation (C*), hue angle (h*), and protein and lipid oxidation ($P < 0.05$), simultaneously. Meat with normal pH_u showed higher values for color parameters (L*, a*, b*, C*, and h*) and higher percentage of oxymyoglobin ($P < 0.05$) in all storage times, and there were no significant differences in protein oxidation in the three ultimate pH ranges in all storage times. These observations suggest that storage under freezing for long periods, along with a 14-day ripening period before freezing, may favor tenderness, oxymyoglobin formation, and color intensity of the meat.

Keywords: Freezing, Shear force, Storage time, Ultimate pH, Color

1. INTRODUÇÃO

A carne é um produto bastante perecível, portanto, a implementação de estratégias para estender seu prazo de validade vem sendo desenvolvida ao longo de décadas (MUELA et al., 2015). Entre eles, o uso de tecnologias de embalagem como por exemplo embalagem a vácuo e atmosfera modificada entre outros e baixas temperaturas (resfriamento ou congelamento), isoladamente ou em combinação, vem sendo utilizado de modo mais frequente, embora a maior parte das melhorias tenha ocorrido nos últimos anos (LEYGONIE; BRITZ; HOFFMAN, 2012). Na indústria, o congelamento desempenha um papel muito importante, permitindo que os produtos sejam fornecidos e comercializados em várias regiões do mundo de uma forma mais segura (DAMEN; STEENBEKKERS, 2007).

No que se refere ao congelamento este pode causar várias mudanças físicas e físico-químicas, o que pode afetar as propriedades da carne (DA SILVA BERNARDO et al., 2020; FAROUK; WIELICZKO; MERTS, 2004; HOLMAN et al., 2017; QIAN et al., 2022), podendo afetar a qualidade microbiológica, influenciar a estabilidade oxidativa das proteínas, dos lipídios e as propriedades como alteração de cor e suculência (DAMEN & STEENBEKKERS, 2007; FAROUK et al., 2004). Outras mudanças físicas que ocorrem na carne congelada é o aumento do pH (DAVEY, 1960; FAROUK; SWAN, 1998a), bem como uma maior maciez da carne descongelada em comparação com a carne sem congelar (MUELA et al., 2015). Também foi verificado que o período de armazenamento sob congelamento causou mudanças na coloração da carne e na estabilidade da mesma (HENRIOTT et al., 2020). Por outro lado, a atividade química durante o armazenamento sob congelamento na carne bovina de acordo com Lawrie, (2006) pode aumentar devido a maiores concentrações de substâncias solúveis, tais como proteínas, carboidratos e vitaminas. O fator chave que influencia sobre essas reações é a temperatura de congelamento, pois ela regula o conteúdo de água não congelada disponível para as reações químicas (MEDIĆ et al., 2018). A temperatura ideal em que a carne congelada deve ser armazenada é -40 °C (ESTÉVEZ, 2011).

A diminuição da estabilidade da cor e o aumento da oxidação da mioglobina está freqüentemente associada à formação de cristais de gelo durante o processo de congelamento, levando à desnaturação da mioglobina e a uma redução do sistema redox da mioglobina devido aos danos mecânicos da proteína (CHOE et al.,

2011; KIM; SETYABRATA; TUELL, 2017; LEYGONIE; BRITZ; HOFFMAN, 2012; MACDOUGALL, 1982). Alguns estudos encontraram que o congelamento também afeta a estabilidade da cor na carne, diminuindo os parâmetros instrumentais da cor (L^* , a^* , b^* , croma C^* e ângulo de tonalidade h^*) em períodos prolongados de armazenamento (ABDALLAH; MARCHELLO; AHMAD, 1999; FAROUK; SWAN, 1998a; VIEIRA et al., 2009). Outras dessas alterações é uma diminuição da capacidade de retenção de água (ALONSO et al., 2016). Além disso, foi relatado um aumento na oxidação de proteínas, em períodos de estocagem de três meses ou mais (ESTÉVEZ, 2011; SOYER et al., 2010), o que pode levar a maior fragmentação ou agregação de proteínas e diminuindo a solubilidade da proteína (XIONG, 2000). Além disso, foi relatado que os níveis de TBARS aumentam durante o armazenamento sob congelamento (COOMBS et al., 2017b). O tempo de estocagem é outro fator importante que também influencia sobre quantidade dos exsudatos, a cor e as substâncias solúveis da carne, como proteínas (MEDIĆ et al., 2018). No entanto, há evidências que mostraram que a carne armazenada congelada por longo período pode ter problemas de qualidade, sobre a cor, aroma e rancidez (HANSEN et al., 2004).

Por outro lado, a carne com pH final (pH_f) alto é um grande problema que tem gerado preocupação sobre a qualidade da carne fresca em todo o mundo (CÔNSOLO et al., 2021). Estudos recentes relatam que nos principais frigoríficos brasileiros cerca de 30% de toda a carne brasileira é representada por carne com pH_f final alto ao ano, principalmente devido à grande utilização de animais machos não castrados e raças zebuínas, e a indústria da carne é afetada com graves perdas econômicas devido a isso (ROSA et al., 2017). Os diferentes pH_f da carne têm uma profunda influência nas propriedades funcionais da carne (CHAN; OMANA; BETTI, 2011). O pH final (pH_f) no músculo post mortem têm grande influência em muitos atributos da qualidade de carne como: cor, capacidade de retenção de água, maciez, solubilidade das proteínas e taxa ou extensão do crescimento microbiano (RAMANATHAN et al., 2022). A carne com um pH_f normal (5,4 a 5,7) resulta em carne com baixa capacidade de retenção de água (CRA) e valores da força de cisalhamento alto (OWENS et al., 2000). A carne com pH_f alto (>6,2) resulta em carne com uma vida útil menor (ALLEN; RUSSELL; FLETCHER, 1997), se apresentam mais macias do que a carne com pH_f normal e intermediário (CONTRERAS-BARON et al., 2021; CONTRERAS-CASTILLO et al., 2016; LI et al.,

2014; PURCHAS; AUNGSUPAKORN, 1993). Um dos principais problemas da carne com pH_f alto é sua aparência mais escura, que afeta a cor dos produtos processados e a aceitação pelo consumidor (RAMANATHAN et al., 2022).

O pH final da carne pode afetar significativamente a qualidade da carne, como por exemplo, a maciez (BIDNER et al., 2004; CONTRERAS-BARON et al., 2021; CONTRERAS-CASTILLO et al., 2016; LOMIWES et al., 2014; PURCHAS; AUNGSUPAKORN, 1993). Alguns pesquisadores descobriram que a carne bovina com pH normal e alto era mais macia do que as amostras com pH_f intermediário (CONTRERAS-BARON et al., 2021; LOMIWES et al., 2013; PURCHAS; AUNGSUPAKORN, 1993), enquanto outros relataram que a maciez tinha uma relação linear com o pH_f na carne bovina (SILVA; PATARATA; MARTINS, 1999). Um estudo recente relatou que a carne bovina menos macia foi produzida em amostras de pH intermediário (LOMIWES et al., 2014).

No entanto, maior informação são necessárias sobre a influência do pH final post-mortem em longos períodos de congelamento sobre os parâmetros de qualidade da carne de bovinos machos da raça Nelore (*Bos indicus*). Auxiliando, com isso, na aplicabilidade para uma melhor definição de limiares de armazenamento que garantam a qualidade da carne nas redes de distribuição e exportação, aproveitando o acesso aos mercados e melhorando o gerenciamento de produtos. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência do pH final e do armazenamento sob congelamento sobre os parâmetros de qualidade da carne como: a estabilidade de cor, as formas químicas da mioglobina, oxidação lipídica, oxidação proteica, maciez instrumental, perda de água e solubilidade da proteica, armazenadas sob congelamento a -20 °C em períodos de 3, 6, 9 e 12 meses.

2. CONCLUSÕES

Os resultados sugerem que o pH final das carnes armazenadas sob congelamento por períodos longos influencia os parâmetros de qualidade da carne bovina, com mudanças na coloração da carne onde ocorre um aumento do índice de vermelho (a^*), amarelo (b^*), croma (C^*) e o ângulo de tonalidade (h^*). Ao mesmo tempo, resultou em efeitos para todas as formas químicas da mioglobina, com valores muito altos de oximioglobina, o que fez que a carne tenha uma cor vermelha brilhante. Os níveis de TBARS permaneceram abaixo do limite de rancidez, independentemente do período de armazenamento. A carne de pH_f normal apresentou maiores valores nos parâmetros da cor, do que a carne com pH_f intermediário e alto. A partir de estes resultados a indústria, poderia optar no congelamento da carne por até por até 12 meses. No entanto, são necessários estudos sobre a estabilidade da cor da carne durante os processos de varejo, e se as mudanças da cor instrumental têm um efeito na percepção sensorial dos consumidores.

O congelamento por períodos prolongados resultou em uma diminuição dos valores da força de cisalhamento, a carne com pH_f alto apresentou melhor maciez que as carnes com pH_f normal e intermediário. Foi observado uma redução da capacidade de retenção de água ao longo do tempo de congelamento, porque as carnes das três faixas de pH_f apresentaram maior perda de exsudação, gotejamento e cocção e a avaliação microbiológica das bactérias aeróbias mesófilas e psicotróficas foram muito menores do que aqueles considerados como máximos aceitáveis para deterioração pelas normativas estabelecidas.

A solubilidade da proteína foi afetada pelo congelamento, diminuindo durante períodos mais longos de congelamento, e a carne de pH_f alto tendo maior solubilidade das proteínas sarcoplasmáticas e a carne de pH_f normal tendo maior solubilidade das proteínas miofibrilares. Estes resultados podem ser benéficos para a indústria da carne ao determinar estratégias de conservação por congelamento para melhorar a qualidade da carne. Entretanto, são recomendados mais estudos sobre atributos sensoriais para validar a aceitação do consumidor.

REFERÊNCIAS

- ABDALLAH, M. BEN; MARCHELLO, J. A.; AHMAD, H. A. Effect of freezing and microbial growth on myoglobin derivatives of beef. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 47, n. 10, p. 4093–4099, 1999.
- AL-DALALI, S.; LI, C.; XU, B. Effect of frozen storage on the lipid oxidation, protein oxidation, and flavor profile of marinated raw beef meat. **Food Chemistry**, v. 376, p. 131881, 2022.
- ALLEN, C. D.; RUSSELL, S. M.; FLETCHER, D. L. The Relationship of Broiler Breast Meat Color and pH to Shelf-Life and Odor Development. **Poultry Science**, v. 76, n. 7, p. 1042–1046, 1997.
- ALONSO, V. et al. Changes in physicochemical properties and fatty acid composition of pork following long-term frozen storage. **European Food Research and Technology**, v. 242, n. 12, p. 2119–2127, 2016.
- AMSA. Guidelines for the measurement of meat color. **American Meat Science Association, Champaign, Illinois, USA**, 2012.
- AMSA. Research guidelines for cookery, sensory evaluation, and instrumental tenderness measurements of meat. **American M ed.** [s.l.] 2 ed, 2016.
- APPLE, J. K. et al. Duration of restraint and isolation stress as a model to study the dark-cutting condition in cattle^{1,2}. **Journal of Animal Science**, v. 83, n. 5, p. 1202–1214, 1 maio 2005.
- AROEIRA, C. N. et al. Effect of freezing prior to aging on myoglobin redox forms and CIE color of beef from Nellore and Aberdeen Angus cattle. **Meat Science**, v. 125, p. 16–21, 1 mar. 2017.
- ASTRÁIN-REDÍN, L. et al. Direct contact ultrasound assisted freezing of chicken breast samples. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 70, p. 105319, 2021.
- BALAN, P. et al. Effect of fast freezing then thaw-aging on meat quality attributes of lamb M. longissimus lumborum. **Animal Science Journal**, v. 90, n. 8, p. 1060–1069, 2019.
- BARROS, L. S. S.; VIOLANTE, P. C. Microbiologia da carne bovina “in natura” comercializada nas feiras livres do recôncavo baiano. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v. 8, n. 3, p. 185–197, 2014.
- BEJARANO, M. **Enciclopedia de la carne y de los productos cárnicos**. Plasencia, Cáceres, Spain.: [s.n.].
- BELLÉS, M. et al. The combined effects of superchilling and packaging on the shelf life of lamb. **Meat Science**, v. 133, p. 126–132, 2017.
- BELTRÁN, J. A. et al. Effect of stress-induced high post-mortem pH on protease

- activity and tenderness of beef. **Meat Science**, v. 45, n. 2, p. 201–207, 1997.
- BELTRÁN, J. A.; BELLÉS, M. Effect of Freezing on the Quality of Meat. **Elsevier**, 2018.
- BENJAKUL, S. et al. Comparative study on physicochemical changes of muscle proteins from some tropical fish during frozen storage. **Food Research International**, v. 36, n. 8, p. 787–795, 2003.
- BERRY, B. W. Changes in Quality of All-Beef and Soy-Extended Patties as Influenced by Freezing Rate, Frozen Storage Temperature, and Storage Time. **Journal of Food Science**, v. 55, n. 4, p. 893–897, 1990.
- BERTRAM, H. C.; ANDERSEN, R. H.; ANDERSEN, H. J. Development in myofibrillar water distribution of two pork qualities during 10-month freezer storage. **Meat Science**, v. 75, n. 1, p. 128–133, 2007.
- BIDNER, B. S. et al. Effect of ultimate pH on the quality characteristics characteristics of pork. **Journal of Muscle Foods**, v. 15, n. 2, p. 139–154, 2004.
- BOAKYE, K.; MITTAL, G. S. Changes in colour of beef m. longissimus dorsi muscle during ageing. **Meat Science**, v. 42, n. 3, p. 347–354, 1996.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa nº 60, de 23 de dezembro de 2019. **Estabelece as listas de padrões microbiológicos para alimentos**, 2019.
- BUENO, M. et al. Effect of freezing method and frozen storage duration on odor-active compounds and sensory perception of lamb. **Food Research International**, v. 54, n. 1, p. 772–780, 2013.
- CAMPO, M. M. et al. Flavour perception of oxidation in beef. **Meat Science**, v. 72, n. 2, p. 303–311, 2006.
- CHAN, J. T. Y.; OMANA, D. A.; BETTI, M. Effect of ultimate pH and freezing on the biochemical properties of proteins in turkey breast meat. **Food Chemistry**, v. 127, n. 1, p. 109–117, 2011.
- CHEN, L.; ZHOU, G.; ZHANG, W. Effects of High Oxygen Packaging on Tenderness and Water Holding Capacity of Pork Through Protein Oxidation. **Food Bioprocess Technol**, p. 2287–2297, 2015.
- CHEN, Q. et al. Influence of oxidation on the susceptibility of purified desmin to degradation by μ -calpain, caspase-3 and -6. **Food Chemistry**, v. 150, p. 220–226, 2014.
- CHOE, J. H. et al. Oxidative and color stability of cooked ground pork containing lotus leaf (*Nelumbo nucifera*) and barley leaf (*Hordeum vulgare*) powder during refrigerated storage. **Meat Science**, v. 87, n. 1, p. 12–18, 2011.

- CHOE, J. H.; STUART, A.; KIM, Y. H. B. Effect of different aging temperatures prior to freezing on meat quality attributes of frozen/thawed lamb loins. **Meat Science**, v. 116, p. 158–164, 2016.
- CHOI, E. J. et al. Effect of tempering methods on quality changes of pork loin frozen by cryogenic immersion. **Meat Science**, v. 124, p. 69–76, 2017.
- CIRQUEIRA, M. G.; BARROS, L. S. S. Contagem de microrganismos mesófilos e verificação da temperatura de carne bovina moída comercializada em Cruz das Almas.
- CÔNSOLO, N. R. B. et al. Preliminary study on the characterization of Longissimus lumborum dark cutting meat in Angus × Nellore crossbreed cattle using NMR-based metabolomics. **Meat Science**, v. 172, n. October 2020, 2021.
- CONTRERAS-BARON, C. L. et al. Influence of ultimate pH on biochemistry and quality of Longissimus lumborum steaks from Nellore bulls during ageing. **Food Science and Technology**, p. 1–11, 2021.
- CONTRERAS-CASTILLO, C. J. et al. The effect of electrical stimulation on post mortem myo fi brillar protein degradation and small heat shock protein kinetics in bull beef. v. 113, p. 65–72, 2016.
- COOMBS, C. E. O. et al. Effects of chilled-then-frozen storage (up to 52 weeks) on lamb M. longissimus lumborum quality and safety parameters. **Meat Science**, v. 134, n. March, p. 86–97, 2017a.
- COOMBS, C. E. O. et al. Long-term red meat preservation using chilled and frozen storage combinations: A review. **Meat Science**, v. 125, p. 84–94, 2017b.
- COOMBS, C. E. O. et al. Effects of chilled and frozen storage conditions on the lamb M. longissimus lumborum fatty acid and lipid oxidation parameters. **Meat Science**, v. 136, n. October 2017, p. 116–122, 2018.
- CORREA, J. A.; MÉTHOT, S.; FAUCITANO, L. A modified meat juice container (EZ-DripLoss) procedure for a more reliable assessment of Drip Loss and related quality changes in pork meat. **Journal of Muscle Foods**, v. 18, n. 1, p. 67–77, 2007.
- CROUSE, J. D.; KOOHMARAIE, M. Effect of Freezing of Beef on Subsequent Postmortem Aging and Shear Force. **Journal of Food Science**, v. 55, n. 2, p. 573–574, 1990.
- CUSTÓDIO, F. B. et al. Assessment of the quality of refrigerated and frozen pork by multivariate exploratory techniques. **Meat Science**, v. 139, p. 7–14, 2018.
- D. LIVINGSTON, W. D. B. The chemistry of myoglobin and its reactions [Meat pigments, food quality indices]. **Food Technology**, v. 35, p. 244–252, 1981.
- DA SILVA BERNARDO, A. P. et al. Effects of freezing and thawing on

microbiological and physical-chemical properties of dry-aged beef. **Meat Science**, v. 161, p. 108003, 2020.

DAMEN, F. W. M.; STEENBEKKERS, L. P. A. Consumer behaviour and knowledge related to freezing and defrosting meat at home: An exploratory study. **British Food Journal**, v. 109, n. 7, p. 511–518, 2007.

DAVE, D.; GHALY, A. E. Meat spoilage mechanisms and preservation techniques: A critical review. **American Journal of Agricultural and Biological Science**, v. 6, n. 4, p. 486–510, 2011.

DAVEY, C. L. The effects of carnosine and anserine on glycolytic reactions in skeletal muscle. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 89, n. 2, p. 296–302, 1960.

DE LAS HERAS, A. et al. Comparison of methods for determining malondialdehyde in dry sausage by HPLC and the classic TBA test. **European Food Research and Technology**, v. 217, n. 2, p. 180–184, 2003.

DELGADO, E. F. et al. Brazilian consumers' perception of tenderness of beef steaks classified by shear force and taste. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 3, p. 232–239, 2006.

EGBERT, W. R.; CORNFORTH, D. P. Factors Influencing Color of Dark Cutting Beef Muscle. **Food Technologists**, v. 51, n. 1, p. 57–59, 1986.

EILERS, J. D. et al. Modification of early-postmortem muscle pH and use of postmortem aging to improve beef tenderness. **Journal of animal science**, v. 74, n. 4, p. 790–798, abr. 1996.

ENGLAND, E. M. et al. Presence of oxygen and mitochondria in skeletal muscle early postmortem. **Meat Science**, v. 139, n. December 2017, p. 97–106, 2018.

ENGLISH, A. R. et al. Effects of aging on the fundamental color chemistry of dark-cutting beef. **Journal of Animal Science**, v. 94, n. 9, p. 4040–4048, 2016.

ESTERBAUER, H.; SCHAUR, R. J.; ZOLLNER, H. Chemistry and biochemistry of 4-hydroxynonenal, malonaldehyde and related aldehydes. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 11, n. 1, p. 81–128, 1991.

ESTÉVEZ, M. Protein carbonyls in meat systems: A review. **Meat Science**, v. 89, n. 3, p. 259–279, 2011.

FAO. **Manual on meat cold store operation and management**. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep>>. Acesso em: 12 maio. 2021.

FAROUK, M. et al. Ageing Prior to Freezing Improves Waterholding Capacity in Beef and Venison 310.00 Mustafa Farouk (1) mustafa.farouk@agresearch.co.nz. **The 55th International Congress of Meat Science and Technology (ICoMST)**, v. 87, n. 1, p. 16–21, 2009.

- FAROUK, M. M.; SWAN, J. E. Effect of Rigor temperature and frozen storage on functional properties of hot-boned manufacturing beef. **Meat Science**, v. 49, n. 2, p. 233–247, 1998a.
- FAROUK, M. M.; SWAN, J. E. Effect of Muscle Condition Before Freezing and Simulated Chemical Changes During Frozen Storage on the pH and Colour of Beef. **Meat Science**, v. 50, n. 2, p. 245–256, 1998b.
- FAROUK, M. M.; WIELICZKO, K. J. Effect of diet and fat content on the functional properties of thawed beef. v. 64, p. 451–458, 2003.
- FAROUK, M. M.; WIELICZKO, K. J.; MERTS, I. Ultra-fast freezing and low storage temperatures are not necessary to maintain the functional properties of manufacturing beef. **Meat Science**, v. 66, n. 1, p. 171–179, 2004.
- FAUSTMAN, C. et al. Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control. **Meat Science**, v. 86, n. 1, p. 86–94, 2010.
- FENG, X.; FU, C.; YANG, H. Gelatin addition improves the nutrient retention, texture and mass transfer of fish balls without altering their nanostructure during boiling. **LWT**, v. 77, p. 142–151, 2017.
- FERNANDES, R. P. et al. Evaluation of physicochemical, microbiological and sensory stability of frozen stored vacuum-packed lamb meat. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 12, n. 11, p. 1946–1952, 2013.
- FERNANDEZ, X.; FORSLID, A.; TORNERG, E. The effect of high post-mortem temperature on the development of pale, soft and exudative pork: Interaction with ultimate pH. **Meat Science**, v. 37, n. 1, p. 133–147, 1994.
- FILGUERAS, R. S. et al. Effect of frozen storage duration and cooking on physical and oxidative changes in *M. Gastrocnemius pars interna* and *M. Iliofibularis* of *rhea americana*. **Meat Science**, v. 88, n. 4, p. 645–651, 2011.
- FRANCO, B. M.; LANDGRAF, M. *Microbiologia dos alimentos*. **São Paulo: Atheneu**, 2008.
- GAŠPERLIN, L.; ŽLENDER, B.; ABRAM, V. Colour of beef heated to different temperatures as related to meat ageing. **Meat Science**, v. 59, n. 1, p. 23–30, 2001.
- GILL, C. O.; NEWTON, K. G. Spoilage of vacuum packaged dark, firm, dry meat at chill temperatures. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 37, n. 3, p. 362–364, 1979.
- H. J. BARNETT, R. W. NELSON, AND F. T. P. A comparative study using multiple indices to measure changes in quality of pink and coho salmon during fresh and frozen storage. **Utilization Research Division, Northwest Fisheries Science Center, National Marine Fisheries Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, Seattle, WA**, 1991.

- HAGYARD, C. J. et al. Frozen storage conditions and rancid flavour development in lamb. **Meat Science**, v. 35, n. 3, p. 305–312, 1993.
- HAMOEN, J. R.; VOLLEBREGT, H. M.; VAN DER SMAN, R. G. M. Prediction of the time evolution of pH in meat. **Food Chemistry**, v. 141, n. 3, p. 2363–2372, 2013.
- HANSEN, E. et al. Oxidative stability of frozen pork patties: Effect of fluctuating temperature on lipid oxidation. **Meat Science**, v. 68, n. 2, p. 185–191, 2004.
- HENRIOTT, M. L. et al. Impact of myoglobin oxygenation state prior to frozen storage on color stability of thawed beef steaks through retail display. **Meat Science**, v. 170, n. June, p. 108232, 2020.
- HINTON, M. et al. The bacteriological quality of British beef 3. Frozen primal joints. **Meat Science**, v. 50, n. 4, p. 403–409, 1998.
- HOLDSTOCK, J. et al. The impact of ultimate pH on muscle characteristics and sensory attributes of the longissimus thoracis within the dark cutting (Canada B4) beef carcass grade. **Meat Science**, v. 98, n. 4, p. 842–849, 2014.
- HOLMAN, B. W. B. et al. Effect of long term chilled (up to 5 weeks) then frozen (up to 12 months) storage at two different sub-zero holding temperatures on beef: 1. Meat quality and microbial loads. **Meat Science**, v. 133, p. 133–142, 2017.
- HONIKEL, K. O. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. **Meat Science**, v. 49, n. 4, p. 447–457, 1998.
- HOWARD, A.; LAWRIE, R. A. Ralston Andrew. Studies of beef quality parts I-III. **Food investigation**, 1956.
- HU, R. et al. Novel synergistic freezing methods and technologies for enhanced food product quality: A critical review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 21, n. 1979–2001, 2022.
- HUFF-LONERGAN, E.; LONERGAN, S. M. Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. **Meat Science**, v. 71, n. 1, p. 194–204, 2005.
- HUGHES, J. et al. High pH in beef longissimus thoracis reduces muscle fibre transverse shrinkage and light scattering which contributes to the dark colour. **Food Research International**, v. 101, p. 228–238, 2017.
- ICMSF. Microorganisms in foods.2. Sampling for microbiological analysis: Principles and specific applications (2nd ed). (Blackwell Scientific Publications, Ed.) **INTERNATIONAL COMMISSION ON MICROBIOLOGICAL SPECIFICATIONS FOR FOODS**, 1986.
- ITO, Y. et al. The solubilization of myofibrillar proteins of vertebrate skeletal muscle in water. **Animal Science Journal**, v. 74, n. 5, p. 417–425, 2003.

- JAYASOORIYA, S. D. et al. Effect of high power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine Semitendinosus and Longissimus muscles. **Meat Science**, v. 75, n. 4, p. 628–639, 2007.
- JOO, S. T. et al. The relationship of sarcoplasmic and myofibrillar protein solubility to colour and water-holding capacity in porcine longissimus muscle. **Meat Science**, v. 52, n. 3, p. 291–297, 1999.
- JOSELL, A.; VON SETH, G.; TORNBERG, E. Sensory quality and the incidence of PSE of pork in relation to crossbreed and RN phenotype. **Meat Science**, v. 65, n. 1, p. 651–660, 2003.
- KANNER, J. Oxidative processes in meat and meat products: Quality implications. **Meat Science**, v. 36, n. 1, p. 169–189, 1994.
- KENNEDY, C. J. **Managing Frozen Foods**. Cambridge, United Kingdom.: [s.n.].
- KIM, B.; SETYABRATA, D.; TUELL, J. R. The Effect of Aging/Freezing Sequence and Freezing Rate on Quality Attributes of Beef Loins (M. longissimus lumborum). **Meat and Muscle Biology**, v. 3, n. 1, 2017.
- KIM, Y. H. B.; FRANSEN, M.; ROSENVOLD, K. Effect of ageing prior to freezing on colour stability of ovine longissimus muscle. **Meat Science**, v. 88, n. 3, p. 332–337, 2011.
- KIM, Y.; HONG, G.-P. Effects of Artificial Supercooling Followed by Slow Freezing on the Microstructure and Qualities of Pork Loin. **Korean journal for food science of animal resources**, v. 36, n. 5, p. 650–655, out. 2016.
- KOOHMARAIE, M. Effect of pH, temperature, and inhibitors on autolysis and catalytic activity. **Journal of Animal Science**, v. 70, p. 3071–3080, 1992.
- KOOHMARAIE, M.; GEESINK, G. H. Contribution of postmortem muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system. **Meat Science**, v. 74, n. 1, p. 34–43, 2006.
- LAGERSTEDT, Å. et al. Effect of freezing on sensory quality, shear force and water loss in beef M. longissimus dorsi. **Meat Science**, v. 80, n. 2, p. 457–461, 2008.
- LAMETSCH, R.; LONERGAN, S.; HUFF-LONERGAN, E. Disulfide bond within μ -calpain active site inhibits activity and autolysis. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Proteins and Proteomics**, v. 1784, n. 9, p. 1215–1221, 2008.
- LANARI, M. C.; ZARITZKY, N. E. Effect of packaging and frozen storage temperature on beef pigments. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 26, n. 6, p. 629–640, 1991.
- LEDWARD, D. A. Post-slaughter influences on the formation of metmyoglobin in beef muscles. **Meat Science**, v. 15, n. 3, p. 149–171, 1985.

- LEE, M. S. et al. Influence of wet-aging on bloom development in the longissimus thoracis. **Meat Science**, v. 80, n. 3, p. 703–707, 2008.
- LEE, S. et al. Freezing-then-aging treatment improved the protein digestibility of beef in an in vitro infant digestion model. **Food Chemistry**, v. 350, p. 129224, 2021.
- LEYGONIE, C.; BRITZ, T. J.; HOFFMAN, L. C. Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review. **Meat Science**, v. 91, n. 2, p. 93–98, 2012.
- LI, D.; ZHU, Z.; SUN, D.-W. Effects of freezing on cell structure of fresh cellular food materials: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 75, p. 46–55, 2018.
- LI, P. et al. Effect of Ultimate pH on Postmortem Myofibrillar Protein Degradation and Meat Quality Characteristics of Chinese Yellow Crossbreed Cattle. **Scientific World Journal**, v. 2014, 2014.
- LI, Y. J. et al. Effects of dietary starch types on growth performance, meat quality and myofibre type of finishing pigs. **Meat Science**, v. 131, n. May, p. 60–67, 2017.
- LIAN, T.; WANG, L.; LIU, Y. A New Insight into the Role of Calpains in Post-mortem Meat Tenderization in Domestic Animals: A review. **Asian-Australasian journal of animal sciences**, v. 26, n. 3, p. 443–454, mar. 2013.
- LIN, W. L. et al. Effect of Ultrastructure on Changes of Textural Characteristics between Crisp Grass Carp (*Ctenopharyngodon Idellus* C.Et V) and Grass Carp (*Ctenopharyngodon Idellus*) Inducing Heating Treatment. **Journal of Food Science**, v. 81, n. 2, p. E404–E411, 2016.
- LIU, G.; XIONG, Y. L.; BUTTERFIELD, D. A. Properties of Oxidized Myofibrils and Whey- and Soy-protein Isolates. **Journal of food science**, v. 65, n. 5, p. 811–818, 2000.
- LOMIWES, D. et al. Small heat shock proteins and toughness in intermediate pH u beef. **MESC**, v. 95, n. 3, p. 472–479, 2013.
- LOMIWES, D. et al. The development of meat tenderness is likely to be compartmentalised by ultimate pH. v. 96, p. 646–651, 2014.
- MACDOUGALL, D. B. Changes in the colour and opacity of meat. **Food Chemistry**, v. 9, n. 1, p. 75–88, 1982.
- MAYOR, L.; SERENO, A. M. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 3, p. 373–386, 2004.
- MCLOUGHLIN, J. V; GOLDSPINK, G. Post-mortem Changes in the Colour of Pig Longissimus Dorsi Muscle. **Nature**, v. 198, n. 4880, p. 584–585, 1963.
- MEDIĆ, H. et al. The impact of frozen storage duration on physical, chemical and

- microbiological properties of pork. **Meat Science**, v. 140, n. April 2017, p. 119–127, 2018.
- MIRMOGHTADAIE, L.; SHOJAEI ALIABADI, S.; HOSSEINI, S. M. Recent approaches in physical modification of protein functionality. **Food Chemistry**, v. 199, p. 619–627, 2016.
- MOCZKOWSKA, M. et al. The effect of the packaging system and storage time on myofibrillar protein degradation and oxidation process in relation to beef tenderness. **Meat Science**, v. 130, p. 7–15, 2017.
- MONIN, G.; LABORDE, D. Water holding capacity of pig muscle proteins: Interaction between the myofibrillar proteins and sarcoplasmic compounds. **Sciences des aliments**, v. 5, n. 2, p. 341–345, 1985.
- MOUSAVI, R. et al. Imaging food freezing using X-ray microtomography. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 42, n. 6, p. 714–727, 2007.
- MUELA, E. et al. Effect of freezing method and frozen storage duration on lamb sensory quality. **Meat Science**, v. 90, n. 1, p. 209–215, 2012.
- MUELA, E. et al. Meat quality of lamb frozen stored up to 21 months: Instrumental analyses on thawed meat during display. **Meat Science**, v. 102, p. 35–40, 2015.
- NGAPO, T. M. et al. Freezing and thawing rate effects on drip loss from samples of pork. **Meat Science**, v. 53, n. 3, p. 149–158, 1999.
- NOGUEIRA, M. S. et al. Qualidade higiênico-sanitária e microbiológica da carne bovina comercializada no município de Areia-PB. **Agropecuária Técnica**, v. 32, n. 1, p. 160–164, 2011.
- OLIVEIRA, S. et al. Avaliação das condições higiênico-sanitárias de carne bovina comercializada em supermercados de João Pessoa. **Alimentos e Nutrição**, v. 19, p. 61–66, 2008.
- OLIVER, C. N. et al. Age-related changes in oxidized proteins. **Journal of Biological Chemistry**, v. 262, n. 12, p. 5488–5491, 1987.
- OMANA, D. A. et al. Alkali-aided protein extraction from chicken dark meat: Chemical and functional properties of recovered proteins. **Process Biochemistry**, v. 45, n. 3, p. 375–381, 2010.
- OWENS, C. M. et al. The characterization and incidence of pale, soft, exudative Turkey meat in a commercial plant. **Poultry Science**, v. 79, n. 4, p. 553–558, 2000.
- PARSONS, N.; KNIGHT, P. Origin of variable extraction of myosin from myofibrils treated with salt and pyrophosphate. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 51, n. 1, p. 71–90, 1990.

- PEARCE, K. L. et al. Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes - A review. **Meat Science**, v. 89, n. 2, p. 111–124, 2011.
- PETROVIĆ, L. Investigation of Effects of Different Freezing Procedures on Myofibrillar Proteins in Beef M. longissimus Dorsi. [s.l.] **Faculty of Technology**, University Novi Sad, Yugoslavia., 1982.
- PETROVIĆ, L.; GRUJIĆ, R.; PETROVIĆ, M. Definition of the optimal freezing rate-2. Investigation of the physico-chemical properties of beef M. longissimus dorsi frozen at different freezing rates. **Meat Science**, v. 33, n. 3, p. 319–331, 1993.
- PHUNG, V. T. et al. Oxygen Consumption Rate of Permeabilized Cells and Isolated Mitochondria from Pork M. Masseter and Liver Examined Fresh and after Freeze-Thawing at Different pH Values. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 6, 2011.
- PURCHAS, R. W.; AUNGSUPAKORN, R. Further investigations into the relationship between ultimate pH and tenderness for beef samples from bulls and steers. **Meat Science**, v. 34, n. 2, p. 163–178, 1993.
- PUROHIT, A. et al. Effects of heme and nonheme iron on meat quality characteristics during retail display and storage. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 9, n. 2, p. 175–185, 2015.
- PURSLOW, P.; GAGAOUA, M.; WARNER, R. Insights on meat quality from combining traditional studies and proteomics. **Meat Science**, v. 174, p. 108423, 1 abr. 2021.
- QIAN, S. et al. The rise of thawing drip: Freezing rate effects on ice crystallization and myowater dynamics changes. **Food Chemistry**, v. 373, p. 131461, 2022.
- RAHELIĆ, S.; PUAČ, S.; GAWWAD, A. H. Structure of beef Longissimus dorsi muscle frozen at various temperatures: Part 1—histological changes in muscle frozen at -10, -22, -33, -78, -115 and -196°C. **Meat Science**, v. 14, n. 2, p. 63–72, 1985.
- RAMANATHAN, R. et al. Food and Beverage Chemistry / Biochemistry Impact of up- and down-regulation of metabolites and mitochondrial properties on pH and color of longissimus muscle from normal-pH and dark-cutting beef. 2020.
- RAMANATHAN, R. et al. Evaluating the failure to bloom in dark-cutting and lactate-enhanced beef longissimus steaks. **Meat Science**, v. 184, n. September 2020, p. 108684, 2022.
- RAMOS M. E., G. L. A. M. Avaliação da Qualidade de Carnes 2ª Edição - Fundamentos e Metodologias. 2ª edição ed. [s.l: s.n.].
- RENERRE, M. Factors involved in the discoloration of beef meat. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 25, n. 6, p. 613–630, 1990.

- RIBEIRO, F. A. et al. Ultimate pH effects on dry-aged beef quality. **Meat Science**, v. 172, n. October 2020, p. 108365, 2021.
- ROSA, A. F. et al. Can Genetics Be Associated With the High Frequency of Dark , Firm and Dry Meat in Brazilian Nellore Beef Cattle? **63rd Proceedings of International Congress of Meat Science and Technology (ICOMST)**, p. 73, 2017.
- ROWE, L. J. et al. Influence of early postmortem protein oxidation on beef quality. **Journal of animal science**, v. 82, n. 3, p. 785–793, mar. 2004.
- RUIZ DE HUIDOBRO, F. et al. A comparison between two methods (Warner-Bratzler and texture profile analysis) for testing either raw meat or cooked meat. **Meat Science**, v. 69, n. 3, p. 527–536, 2005.
- SAWYER, J. T. et al. Fresh and cooked color of dark-cutting beef can be altered by post-rigor enhancement with lactic acid. **Meat Science**, v. 83, n. 2, p. 263–270, 2009.
- SHANKS, B. C.; WULF, D. M.; MADDOCK, R. J. Technical note: The effect of freezing on Warner-Bratzler shear force values of beef longissimus steaks across several postmortem aging periods. **Journal of Animal Science**, v. 80, n. 8, p. 2122–2125, 1 ago. 2002.
- SILVA, J. A.; PATARATA, L.; MARTINS, C. Influence of ultimate pH on bovine meat tenderness during ageing. **Meat Science**, v. 52, n. 4, p. 453–459, 1999.
- SILVA, M. C. Avaliação da qualidade microbiológica de alimentos com utilização de metodologias convencionais e do sistema Sim Plate. [s.l.] **Universidade de São Paulo**, 2002.
- SØRENSEN, G.; STORGAARD JØRGENSEN, S. A critical examination of some experimental variables in the 2-thiobarbituric acid (TBA) test for lipid oxidation in meat products. **European Food Research and Technology**, v. 202, n. 3, p. 205–210, 1996.
- SOYER, A. et al. Effects of freezing temperature and duration of frozen storage on lipid and protein oxidation in chicken meat. **Food Chemistry**, v. 120, n. 4, p. 1025–1030, 2010.
- TAPP, W. N.; YANCEY, J. W. S.; APPLE, J. K. How is the instrumental color of meat measured? **Meat Science**, v. 89, n. 1, p. 1–5, 2011.
- 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, 2005.
- TORNBERG, E.; ANDERSSON, A.; VON SETH, G. Water distribution in raw pork muscle (M. longissimus dorsi) of different meat qualities. **In Proceedings of the 39th International Congress of Meat Science and Technology. Canada.**, p. 8, 1993.

- TORRES, E. A. F. . et al. Composição centesimal e valor calórico de alimentos de origem animal. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, n. 2, p. 145–150, 2000.
- TORRES FILHO, R. DE A. et al. Drip loss assessment by different analytical methods and their relationships with pork quality classification. **Journal of Food Quality**, v. 2017, 2017.
- TURGUT, S. S.; SOYER, A.; IŞIKÇI, F. Effect of pomegranate peel extract on lipid and protein oxidation in beef meatballs during refrigerated storage. **Meat Science**, v. 116, p. 126–132, 2016.
- V. GOÑI, G. et al. Measuring muscle color in beef using an instrumental method versus visual color scales. **Journal of Muscle Foods**, n. May, 2008.
- VAN LAACK, R. L. J. M. et al. Characteristics of pale, soft, exudative broiler breast meat. **Poultry Science**, v. 79, n. 7, p. 1057–1061, 2000.
- VAN LAACK; RIËTTE, L. J. M.; KAUFFMAN, G. R. Glycolytic potential of red, soft, exudative pork longissimus muscle. **Journal of Animal Science**, v. 77, n. 11, p. 2971–2973, 1999.
- VIEIRA, C. et al. Effect of frozen storage conditions (temperature and length of storage) on microbiological and sensory quality of rustic crossbred beef at different states of ageing. **Meat Science**, v. 83, n. 3, p. 398–404, 2009.
- VITALE, M. et al. Effect of aging time in vacuum on tenderness, and color and lipid stability of beef from mature cows during display in high oxygen atmosphere package. **Meat Science**, v. 96, n. 1, p. 270–277, 2014.
- WANG, K. et al. Improving myofibrillar proteins solubility and thermostability in low-ionic strength solution: A review. **Meat Science**, v. 189, p. 108822, 2022.
- WEI, R. et al. Effect of freezing on electrical properties and quality of thawed chicken breast meat. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 30, n. 4, p. 569–575, 2017.
- WHEELER, T. L. et al. Palatability of Chilled and Frozen Beef Steaks. **Journal of Food Science**, v. 55, n. 2, p. 301–304, 1990.
- WIERBICKI, E. The relation of tenderness to protein alterations during post mortem aging. **Food Technology**, v. 8, p. 506–511, 1954.
- WU, G. et al. Effect of beef ultimate pH and large structural protein changes with aging on meat tenderness. v. 98, p. 637–645, 2014.
- WU, S. et al. Understanding the development of color and color stability of dark cutting beef based on mitochondrial proteomics. **Meat Science**, v. 163, n. December 2019, p. 108046, 2020.

- WULF, D. M. et al. Relationships among glycolytic potential, dark cutting (dark, firm, and dry) beef, and cooked beef palatability¹. **Journal of Animal Science**, v. 80, n. 7, p. 1895–1903, 1 jul. 2002.
- XIA, X. et al. Physicochemical change and protein oxidation in porcine longissimus dorsi as influenced by different freeze–thaw cycles. **Meat Science**, v. 83, n. 2, p. 239–245, 2009.
- XIE, Y. et al. Applying low voltage electrostatic field in the freezing process of beef steak reduced the loss of juiciness and textural properties. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 68, p. 102600, 2021.
- XIONG, Y. . Protein oxidation and implications for muscle food quality. In: DECKER, E.; FAUSTMAN, C.; LOPEZ-BOTE, C. J. (Ed.). **Antioxidants in muscle foods: nutritional strategies to improve quality**. Animal Science Department, 206 W.P. Garrigus Building, University of Lexington, KY 40546-0215, USA.: [s.n.]. p. 85–111.
- XU, D. et al. The coordination of dietary valine and isoleucine on water holding capacity, pH value and protein solubility of fresh meat in finishing pigs. **Meat Science**, v. 163, n. January, p. 108074, 2020.
- YOUNG, O. A. et al. Industrial application to cattle of a method for the early determination of meat ultimate pH. **Meat Science**, v. 67, n. 1, p. 107–112, 2004.
- ZARITZKY, N. E. **Factors affecting the stability of frozen foods**. [s.l.] Woodhead Publishing Limited, 2000.
- ZHANG, S. X. et al. Functional stability of frozen normal and high pH beef. **Meat Science**, v. 69, n. 4, p. 765–772, 2005.
- ZHANG, Y. et al. Carbon monoxide packaging shows the same color improvement for dark cutting beef as high oxygen packaging. **Meat Science**, v. 137, p. 153–159, 2018.
- ZHANG, Y. et al. Effects of basic amino acid on the tenderness, water binding capacity and texture of cooked marinated chicken breast. **LWT**, v. 129, p. 109524, 2020.
- ZHAO, Y. et al. Effect of energy metabolism and proteolysis on the toughness of intermediate ultimate pH beef. **Meat Science**, v. 188, n. March, p. 108798, 2022.