Estudo sobre maciez e relação com comprimento de sarcômero da carne bovina brasileira

Palavras-Chave: Nellore, Longissumus thoracis, difração a laser

Autores(as):

Murilo Martins Corral, FEA - UNICAMP

Prof(ª). Dr(ª). Sérgio Bertelli Pflanzer Jr. (Orientador), FEA - UNICAMP

Dyana Carla Lima H. Noguera (Co-orientadora), FEA - UNICAMP

1. Introdução

Historicamente o Brasil se destaca como liderança no mercado mundial de carne bovina. Segundo o último relatório do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), o Brasil representou a segunda maior produção mundial com 10,835 milhões de toneladas durante o ano de 2023. Também referente à exportação neste ano, o país assume a liderança mundial com 2,975 milhões de toneladas de carne bovina exportada (USDA, 2024).

O sistema produtivo brasileiro consiste na criação de gado majoritariamente em pastos, sob alimentação baseada em milho, soja e pastagens. Este sistema representa um dos fatores que podem influenciar negativamente a qualidade da carne. A falta de padronização é outro fator negativo quanto à carne produzida no Brasil, devido a incongruências quanto à maciez, consistência e sabor dos produtos oferecidos (HORST et al, 2016; FERRAZ, 2009).

A maciez é a característica mais associada à qualidade da carne, devido ao seu destaque durante o consumo, que pode garantir efeitos sensoriais positivos ao consumidor. Diversos fatores influenciam a maciez , dispondo-se desde a genética do animal, o sistema de criação do gado, as condições de armazenamento, até ao método de preparo para consumo (ALVES et al, 2006; LAWRIE, 1985).

O sarcômero constitui a menor unidade contrátil estrutural repetitiva da miofibrila, apresentando um papel importante no ciclo de contração e relaxamento muscular. A avaliação do comprimento do sarcômero traz informações importantes acerca da maciez da carne, visto que seu comprimento está relacionado a sobreposição das proteínas miofibrilares. Logo, quanto maior o comprimento do sarcômero menor será essa sobreposição, garantindo menor resistência para o rompimento das fibras musculares (ALVES et al, 2006; Miller et al, 2004).

Portanto, pesquisas sobre o comprimento do sarcômero fornecem informações que, quando comparadas aos métodos instrumentais de determinação da maciez, ajudam a estabelecer a relação entre o comprimento do sarcômero e a maciez da carne.

2. Metodologia

2.1 Obtenção e processamento das amostras

Amostras do músculo *Longissimus thoracis* (~ 5 cm) foram coletadas em cinco diferentes unidades frigoríficas brasileiras dos estados de São Paulo (A), Minas Gerais (E), Mato Grosso (C, D) e Bahia (B) Todas as coletas ocorreram 48 horas após o abate e as amostras foram congeladas imediatamente (-18°). Em seguida, foram porcionadas em bifes com espessura de 2,5 cm e armazenadas sob congelamento até o momento das análises.

2.2 Análise de pH

A determinação do pH das amostras foi realizada com auxílio de pHmetro digital (Mettler Toledo MP125) previamente calibrado com soluções tampão padrão (pH 4,0 e 7,0). Para a medição, cerca de 2 g de carne previamente trituradas em miniprocessador foram homogeneizadas com 20 mL de água destilada (proporção 1:10) por 20 segundos com auxílio de bastão de vidro, formando uma suspensão uniforme. Em seguida, o eletrodo do pHmetro foi imerso na suspensão e o valor de pH foi registrado após estabilização da leitura. Todo o procedimento foi realizado em duplicata e os resultados expressos como média dos valores obtidos.

2.3 Perda de peso por cocção (PPC)

Para calcular a perda de peso (%), bifes crus de 2,54 cm de espessura, foram pesados e termopares foram inseridos no centro geométrico de cada bife. Em seguida, as amostras foram colocadas em forno convencional (Fritomaq 90x90, São Paulo, Brasil) pré-aquecido a 170°C. Os bifes amostra foram aquecidos até atingirem uma temperatura interior de 71°C, sendo virados após o centro atingir 45°C (AMSA, 2016).

Logo após sair do forno, as amostras foram pesadas e deixadas à temperatura ambiente até que a temperatura se iguale. Em seguida, transferidas para uma câmara fria a 4°C por 12 horas (AMSA, 2016).

2.4 Maciez instrumental - Força de cisalhamento por Warner Bratzler Shear Force (WBSF)

Com os bifes já assados e resfriados (4°C), foram obtidos 6 cilindros de 1,27 cm de diâmetro retirados no sentido das fibras musculares. Em seguida, com o texturômetro calibrado (TA-XT Stable Micro Systems, Surrey, UK), os cilindros foram posicionados de forma que a lâmina do equipamento corte completamente o centro da amostra (AMSA, 2016). Os resultados foram expressos em kg utilizando a média dos 6 cilindros.

2.5 Comprimento de sarcômero - Difração de raio laser

Para cada amostra, foi preparada uma peça de 2 × 2 × 1 cm na direção das fibras musculares. Esta peça foi colocada em um recipiente e imersa em solução de glutaraldeído a 5% contendo 0,1M de Na2HPO4 com pH 7,2 por 24 horas sob refrigeração. Após esse período, as amostras foram lavadas com tampão de sacarose 0,2M em pH 7,2 antes das medições. Com auxílio de pinças, um pequeno feixe muscular foi retirado na direção das fibras, colocado em uma lâmina de microscopia e coberto com uma gota da solução de sacarose. Em seguida, foi espalhado pela lâmina até obter pelo menos 10 fibras individuais (Koolmees, 1986).

Após a aplicação da lamínula para cobrir a amostra, a luz do laser foi direcionada sobre os fragmentos de fibra até que a difração fosse observada. Em seguida, a distância entre as bandas de difração formadas foi medida com um paquímetro em 10 regiões diferentes da lâmina, e o comprimento do sarcômero foi calculado conforme a equação 1 (Koolmees, 1986).

$$\mu = \frac{0{,}6326 \,.D\,.\sqrt{\frac{T^2}{D}+1}}{T} \quad \text{(Equação 1)}$$

Sendo “D” a distância (mm) entre a lâmina e o local de medição e “T” a distância (mm) medida entre 2 bandas de difração.

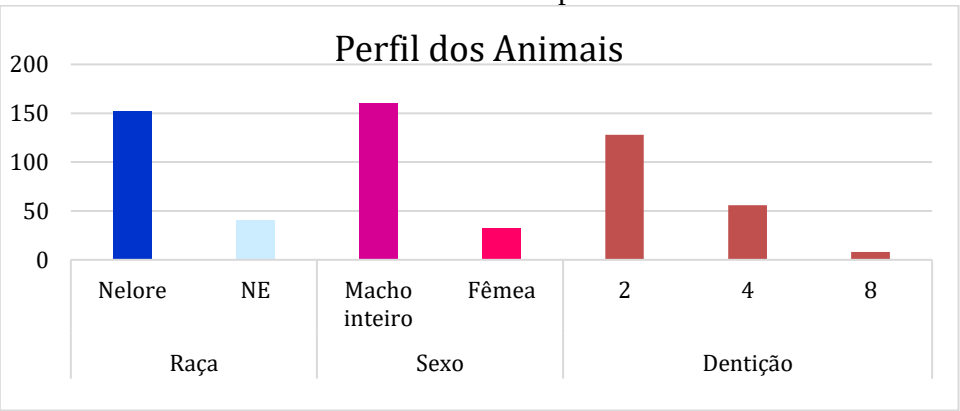
2.6 Análise de resultados

Os resultados foram submetidos a análise estatística utilizando análise de variância (ANOVA), com um nível de significância de 5% através do teste de Tukey, utilizando o software STATISTICA versão 10.0.

3. Resultados e discussão

O Gráfico 1 apresenta o perfil dos 192 animais avaliados com base em suas características. Dentre eles, 152 eram da raça Nelore e 40 de raça não especificada; 160 eram machos inteiros e 32, fêmeas. Em relação à dentição, 128 animais possuíam 2 dentes, 56 apresentavam 4 dentes e 8 tinham 8 dentes.

Gráfico 1. Perfil dos animais abatidos para a coleta das amostras.



NE: Não especificado

Condições intrínsecas e extrínsecas, como raça, sexo, idade de abate, sistema de alimentação, tipo de músculo, grau de acabamento, peso da carcaça, temperatura da câmara fria e métodos de pendura, influenciam diretamente a estrutura muscular e os processos bioquímicos pós-morte, refletindo de forma decisiva na qualidade final do produto (Ertbjerg & Puolanne, 2017; Lawrie, 1985).

A raça Nelore (*Bos indicus*) é historicamente associada à carne mais dura, principalmente em função do baixo teor de gordura intramuscular (Alves et al., 2006). De modo geral, em relação a raça, animais taurinos (*Bos taurus*) tendem a produzir carnes mais macias em comparação às raças zebuínas (*Bos indicus*), devido à menor atividade de calpastatina e à menor concentração de colágeno insolúvel nos músculos (Felício, 1997). A calpastatina é um inibidor da calpaína, enzima responsável pela proteólise das proteínas miofibrilares durante o amaciamento pós-morte. Assim, níveis mais altos de calpastatina reduzem a ação proteolítica das calpaínas, resultando em carnes menos macias (Boccard, 1979). Crouse et al. (1989) sugeriram que a menor maciez observada em zebuínos pode estar relacionada à menor fragmentação das miofibrilas e à maior quantidade de tecido conjuntivo nas fibras musculares desses animais.

O sexo dos animais influencia significativamente tanto o ganho de peso quanto a composição da carcaça e, por consequência, a maciez da carne (Purchas, 1991). Dentre essas diferenças, destaca-se a comparação entre machos inteiros e castrados, sendo que os primeiros tendem a produzir carnes menos macias. Essa diferença tem sido atribuída, em parte, às características do tecido conjuntivo, já que machos inteiros apresentam maior quantidade de colágeno insolúvel na musculatura, o que dificulta a solubilização durante o cozimento (Burson et al., 1986). Além disso, carcaças de machos inteiros costumam apresentar menor teor de marmoreio, fator que também contribui para a menor maciez (Seideman et al., 1982). Estudos apontam que a carne de machos inteiros apresenta maior concentração de calpastatina no músculo em comparação aos castrados (Boccard, 1979; Wheeler et al., 1990).

A maturidade é considerada em todos os sistemas de tipificação de carcaça bovina, uma vez que há evidências de que a qualidade organoléptica da carne tende a se reduzir com o avanço da idade dos animais (Alves et al., 2006). Com o envelhecimento, ocorrem ligações cruzadas intra e intermoleculares no colágeno, que se tornam molecularmente estáveis, de difícil desnaturação, o que compromete sua quebra por enzimas ou por tratamentos térmicos (Bailey & Sims, 1977).

Com o objetivo de garantir a qualidade e a consistência dos resultados, foram excluídas as amostras que apresentaram valores de pH superiores a 5,9, indicativos da condição conhecida como Dark, Firm and Dry (DFD) (Honikel, 2004). Essa alteração indesejada compromete as características sensoriais e tecnológicas da carne, sendo geralmente atribuída a falhas no manejo pré-abate, como estresse prolongado. A presença de amostras DFD poderia resultar em resultados falsos positivos quanto à maciez, uma vez que a elevação do pH tende a suavizar a textura da carne.

Também foram excluídas da análise as amostras que apresentaram perdas de peso por cocção fora dos limites estabelecidos, especificamente superiores a 28% ou inferiores a 16%, devido a possíveis falhas no processo de cocção. Perdas de peso excessivas impactam negativamente na maciez e comprometem a consistência dos dados. Da mesma forma, perdas muito baixas tendem a estar associadas a carnes mais suculentas e macias, podendo gerar resultados artificialmente positivos. A exclusão desses valores extremos

visa evitar distorções na análise estatística e garantir maior representatividade dos dados dentro de uma faixa técnica aceitável.

Tabela 1. Valores de média ± erro padrão da média dos atributos de qualidade de amostras das diferentes regiões.

Parâmetros	A (n= 26)	B (n= 35)	C (n= 34)	D (n= 36)	E (n= 33)
pH	5,65 ± 0,02 [ab]	5,70 ± 0,02 [a]	5,54 ± 0,02 [c]	5,63 ± 0,02 [b]	5,70 ± 0,01 [a]
PPC (%)	23,31 ± 0,50 [a]	22,45 ± 0,32 [ab]	21,49 ± 0,27 [b]	21,97 ± 0,36 [ab]	22,01 ± 0,36 [ab]
WBSF (kg)	5,39 ± 0,22 [c]	6,65 ± 0,26 [b]	7,66 ± 0,21 [a]	5,60 ± 0,25 [c]	5,48 ± 0,15 [c]
Sarcl (µm)	1,84 ± 0,03 [a]	1,63 ± 0,02 [b]	1,65 ± 0,02 [b]	1,79 ± 0,02 [a]	1,88 ± 0,03 [a]

PPC: Perda de peso por cocção; WBSF: Warner-Bratzler Shear Force; Sarcl: Comprimento de sarcômero por difração laser. Médias com letras diferentes em uma mesma linha diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Referente ao pH, a variação entre os grupos pode refletir diferenças no manejo pré-abate e nos níveis de estresse animal, que influenciam a taxa de queda do pH pós-morte, com impactos na acidificação muscular. Cabe destacar que, devido à exclusão de amostras com pH superior a 5,9, observou-se um comportamento mais uniforme entre as médias, apresentando valores comuns de 5,4 a 5,8.

Os percentuais de perda de peso pós-cocção mostraram pouca variação, situando-se entre 21,49% e 23,31%, apresentando diferença significativa entre as unidades A e C.

A análise de maciez instrumental (WBSF) mostrou que a carne da região C foi a mais resistente ao corte, com uma média de 7,66 ± 0,21 kg, valor significativamente superior aos demais. A região B apresentou média intermediária (6,65 ± 0,26 kg), enquanto os menores valores, indicando maior maciez, foram observados na região A (5,39 ± 0,22 kg), região E (5,48 ± 0,15 kg) e região D (5,60 ± 0,25 kg), que não diferiram entre si. Conforme os padrões de maciez estabelecidos pela American Society for Testing and Materials (ASTM), carnes com valores inferiores a 3,9 kg são classificadas como muito macias; entre 4,0 e 4,4 kg, como macias; de 4,5 a 6 kg, como de maciez intermediária; e acima de 6 kg, como duras (Shackelford, 1991). Portanto, mesmo apresentando as menores médias do estudo, as regiões A, D e E estão enquadradas como maciez intermediarias, já as regiões B e C são classificadas como “duras”.

No parâmetro de comprimento de sarcômero (Sarcl), os maiores valores médios foram encontrados nas carnes da unidade E (1,88 ± 0,03 µm), D (1,79 ± 0,02 µm) e A (1,84 ± 0,03), ambos significativamente superior aos valores das regiões B(1,63 ± 0,02 µm) e C (1,65 ± 0,02 µm). Como sarcômeros mais longos estão associados a menor encurtamento muscular e maior maciez, esses dados sustentam os bons resultados de WBSF observados para as regiões A D e E. Os comprimentos dos sarcômeros no período post-mortem afetam significativamente as propriedades texturais da carne crua e cozida.

4. Conclusão

Este trabalho contribui para a compreensão mais aprofundada dos fatores estruturais que afetam a maciez da carne e destaca a relevância do comprimento do sarcômero como parâmetro técnico aplicável ao controle de qualidade na indústria frigorífica. Além disso, evidencia o potencial de diferenciação entre unidades produtivas quanto à qualidade da carne, fornecendo subsídios para estratégias de melhoria contínua nos sistemas de produção e abate.

5. Referências bibliográficas

Alves, D. D. et al. **MACIEZ DA CARNE BOVINA.** Ciência Animal Brasileira / Brazilian Animal Science, Goiânia, v. 6, n. 3, p. 135–149, 2006. Disponível em: https://revistas.ufg.br/vet/article/view/370.

AMSA (American Meat Science Association). (2016). **RESEARCH GUIDELINES FOR COOKERY, SENSORY EVALUATION, AND INSTRUMENTAL TENDERNESS MEASUREMENTS OF MEAT** (2th edition, 1.02 version). Champaign, IL: Natl. LiveStock and Meat Board.

Bailey, A.J.; Sims, T.J. **Meat tenderness: distribution of molecular species of collagen in bovinemuscle.** Journal of the Science of Food andAgriculture, v. 28, n. 6, p. 565-570, 1977.

Boccard, R. L. et al. (1979). **The influence of age, sex and breed of cattle on their muscle characteristics**. *Meat science*, *3*(4), 261-280.

Burson, D.E.; Hunt, M.C.; Unruh, J.A. **Proportion of types I and III collagen in Longissimuscollagen from bulls and steers.** Journal of AnimalScience, v. 63, n. 2, p. 453-456, 1986

Crouse, J.D.; Cundiff, L.V.; Koch, R.M. **Comparisons of Bos indicus and Bos taurusinheritance for carcass beef characteristics and meatpalatability.** Journal of Animal Science, v. 67, n.10,p. 2661-2668, 1989

Ertbjerg, P., & Puolanne, E. (2017). Muscle structure, sarcomere length and influences on meat quality: A review. Meat Science, 132, 139–152.

Felício, P. E. **Fatores ante e post mortem que influenciam na qualidade da carne bovina**. Produção de novilho de corte, v. 1, p. 79-97, 1997.

Ferraz, J. B. S.; Felicio, P. E. **Production systems – An example from Brazil.** Meat Science 84 (2010) 238–243, 2 Junho 2009. Disponível em: https://www.usp.br/gmab/publica/msjbsf2010.pdf

Honikel, K. O. (2004). **Chemical and physical characteristics of meat/pH measurement**. In W. K. Jensen, C. Devine, & M. Dikeman (Eds.), Encyclopedia of meat sciences (p. 238). Oxford: Elsevier.

Horst, E. H. et al. **Aspectos que influenciam a maciez da carne de bovinos: Revisão.** PUBVET: Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia v.10, n.11, p.779-784, Out., 2016.

Koolmees, P. A.; Korteknie, F.; Smulders, F. J. M. (1986). **Accuracy and utility of sarcomere length assessment by laser diffraction.** Food Structure: Vol. 5, No. 1, Article 9.

Lawrie, R.A. **The eating quality of meat**. In: Lawrie, R.A. (Ed.). Meat science, 1985.

Miller, K. R. Palatability. In W. Jensen, C. Devine, & M. Dikeman. **Encyclopedia of meat sciences** pp. 256–266, 2004. Oxford, England. Elsevier Academics Press.

Purchas, R.W. **Effect of sex and castration on growth and composition. Growth regulation in farmanimals: advances in meat research**. London:Elsevier Applied Science, 1991. p. 203-254

Seideman, S.C.; Cross, H.R.; Oltjen, R.R. **Utilization of the intact male for red meat production:a review.** Journal of Animal Science, v. 55, n. 4, p.826-840, 1982.

USDA (2024). United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. **Livestock and Poultry: World Markets and Trade.** Disponível em: https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf

Wheeler, T.L.; Savell, J.W.; Croos, H.R. **Mechanisms associated with the variation intenderness of meat from Brahman and Hereford cattle.** Journal of Animal Science,v. 68, n. 12, p.4206-4220, 1990.