



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos

**ANÁLISE DOS EFEITOS DE TRÊS SISTEMAS DE
PRODUÇÃO E DA MATURAÇÃO NA QUALIDADE DE
CARNE DE BOVINOS MESTIÇOS (1/2 ANGUS X 1/2
NELORE)**

HENRIQUE RORATO FREIRE

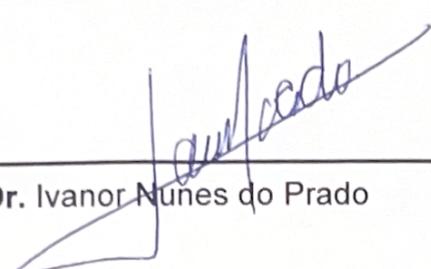
Maringá

2025

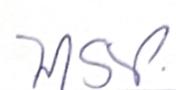
HENRIQUE RORATO FREIRE

“ANÁLISE DOS EFEITOS DE TRÊS SISTEMAS DE PRODUÇÃO E DE MATURAÇÃO NA QUALIDADE DE CARNE DE BOVINOS MISTIÇOS (1/2 ANGUS X 1/2 NELORE)”.

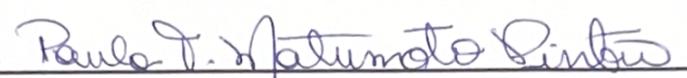
Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciência de Alimentos, para obtenção do grau de Mestre em Ciência de Alimentos.



Prof. Dr. Ivanor Nunes do Prado



Profa. Dra. Magali Soares dos Santos Pozza



Profa. Dra. Paula Toshimi Matumoto Pinto

Orientadora

Maringá – 2025

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

F866a

Freire, Henrique Rorato

Análise dos efeitos de três sistemas de produção e da maturação na qualidade de carne de bovinos mestiços (1/2 Angus x 1/2 Nelore) / Henrique Rorato Freire. -- Maringá, PR, 2025.

34 f. : tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Paula Toshimi Matumoto Pinto.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, 2025.

1. Bovinos mestiços - Qualidade da carne - Maturação. 2. Bovinos mestiços - Confinamento. 3. Bovinos mestiços - Pastagem. I. Pinto, Paula Toshimi Matumoto, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos. III. Título.

CDD 23.ed. 636.20852

Síntique Raquel de C. Eleutério - CRB 9/1641

Orientadora

Profa. Dra. Paula Toshimi Matumoto Pinto

BIOGRAFIA

HENRIQUE RORATO FREIRE nasceu em 20/04/1996 na cidade de MARINGÁ. Possui graduação em Direito pela Universidade Unicesumar e é advogado inscrito na OAB pelo nº 128.388. Possui graduação em Tecnologia em Gastronomia pela Universidade Unicesumar. Tem experiência na área de alimentos, trabalhando por mais de dois anos no ramo de bares e restaurantes, em especial na praça de cozinha quente e carnes. No ramo da pesquisa, atuou na área de qualidade de carne, principalmente no tema de avaliação instrumental e sensorial da carne de diferentes sistemas de terminação de bovinos de corte: pastagem, confinamento convencional e confinamento full-time. Em seu mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos (PPC-UEM), integrou o Grupo de Pesquisa em Alimentos Funcionais (GPAF) desde agosto de 2023. O grupo atua na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, com ênfase em alimentos funcionais, com pesquisas que envolvem temas como agronomia, agroindústria, aproveitamento de subprodutos, compostos antioxidantes, qualidade de alimentos e desenvolvimento de produtos com propriedades funcionais.

Dedico

À minha família e amigos, pelo apoio na jornada que tornou isso possível.

AGRADECIMENTOS

A decisão de voltar à minha antiga área de atuação enquanto me graduava em uma área totalmente diferente, mas focado agora na pós-graduação e na pesquisa científica, foi totalmente inusitada, mas se mostrou muito proveitosa.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos (PPC) da Universidade Estadual de Maringá (UEM), no qual recebi a bolsa financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).

Agradeço a minha companheira Izabela do Carmo Godart que desbravou esse mundo primeiro e mostrou que era possível experimentar o universo da ciência, mesmo sem tanta experiência prévia, com dedicação, estudo e força de vontade.

Sou grato também à minha família e amigos pessoais que me apoiaram financeiramente e emocionalmente durante essa jornada, permitindo que tudo fosse possível.

Agradeço ainda aos amigos e colegas do GPAF, por tornaram esses dias de laboratório e a jornada do mestrado mais leves, e ao Prof. Dr. Ivanor Nunes do Prado pelo trabalho de colaboração que pudemos fazer ao longo do mestrado.

Por fim, agradeço à minha orientadora Profa. Dra. Paula Toshimi Matumoto Pinto por ter me acolhido quando entrei no processo seletivo do programa e trouxe junto uma ideia inovadora que, infelizmente, não foi possível se efetivar, embora tenhamos tentado. Mesmo assim, manteve-se firme na ideia e no auxílio até o fim, possibilitando o trabalho que rendeu a presente dissertação, pela qual eu não poderia ser mais grato.

APRESENTAÇÃO

Esta dissertação de mestrado está apresentada na forma de um artigo científico.

Henrique Rorato Freire, Jean Fagner Pauly, Jéssica Geralda Ferracini, Bianka Rocha Saraiva, Ana Carolina Pelaes Vital, Paula Toshimi Matumoto Pinto, Ana Guerrero, Ivanor Nunes do Prado. Effects of Aging and Production Systems (Pasture, Feedlot, and Improved Pasture + Feedlot) on Meat Quality of (1/2 Angus × 1/2 Nellore) Crossbred Cattle. Tropical Animal Health and Production.

GENERAL ABSTRACT

The meat of cattle raised on pasture systems presents a more favorable composition of fatty acids, pigments, and antioxidants, and is considered more beneficial to human health. However, these animals generally reach slaughter weight at an older age, which requires finishing in feedlots to make production viable. At the same time, the growing concern with the sustainability of the production chain has brought to the forefront strategies to feed a global population estimated at 9 billion by 2050, without intensifying environmental impacts. In this context, a production system was developed aimed at greater efficiency in reduced pasture areas, with lower dependence on concentrated ingredients such as corn and soybeans and a shorter production cycle, integrating criteria of economic feasibility, environmental management, and social responsibility.

This study was conducted to evaluate the effect of three different production systems on the meat quality of crossbred bulls (1/2 Aberdeen Angus × 1/2 Nellore), as well as the effect of aging. The bulls were randomly assigned to the following systems: PAS – bulls raised and finished on brachiaria pasture without fertilization or soil correction, then finished in a feedlot; CON – bulls raised and finished in a feedlot; and PMC – bulls raised on high-quality pastures, corrected and fertilized, then finished in a feedlot. Experimental procedures were reviewed and approved by the respective institutional ethics committees in accordance with Brazilian law. Sample preparation was carried out by excising the *longissimus dorsi* (LD) muscle from each treatment, resulting in ten different samples for each analysis, whose results were expressed as averages. The meat was wet aged at 4 °C for 1, 3, 7, and 10 days. The following were analyzed: carcass weight, pH, subcutaneous fat thickness, color, texture, water loss, lipid oxidation by the TBARS assay, and antioxidant activity using the FRAP, ABTS, DPPH, and ORAC assays. Meat attribute statistical analysis was evaluated using analysis of variance (ANOVA), and means and standard deviations were calculated for each variable along with Tukey's test.

Results showed that pH was lower ($P < 0.05$) in meat from PAS bulls and higher in the PMC system. Aging increased ($P < 0.05$) pH in all treatments. Treatment time and aging had no effect ($P > 0.05$) on water-holding capacity measured by cooking loss. However, thawing losses were lower in the PMC system, possibly due to higher subcutaneous fat content and lower water content. For drip loss, the lowest values were observed in the CON system, which also produced the highest intramuscular fat. The PAS system resulted in leaner meat. Aging time increased meat darkening. Among systems, PAS had the highest overall lightness and tied with CON for the highest average redness. Meat from animals in the PAS system was tougher, CON was intermediate, and PMC was the most tender. Aging improved meat tenderness, but also led to darker color, as expected. Lipid oxidation was higher and similar between the CON and PMC systems during the early aging days, but became lower in PMC after the midpoint of the aging period. Antioxidant activity showed no significant differences among production systems in any of the assays.

Comparing the three production systems, PAS yielded the best color results, with higher lightness associated with redness, without significant statistical difference from CON. This brightness and red color tends to visually attract consumers, although it presented the worst texture values, which was expected due to greater muscle effort in free-grazing cattle. The CON system showed the best overall results, albeit at the cost of higher production expenses and lower sustainability due to greater methane emissions. Lastly, the PMC system proved viable for beef cattle production, although it can still be improved for more favorable outcomes. Although it had the highest pH among the treatments, values remained within acceptable standards, and no significant differences were observed in water-holding capacity or antioxidant activity. Furthermore, in terms of tenderness—an extremely relevant factor for consumer preference—PMC meat was intermediate among the systems during the first three days of aging and became the most tender from the seventh day onward, suggesting better potential as raw material for long aging meat, like dry-aged beef production. Considering that the PMC system uses less grazing land than the standard Brazilian PAS and less high-quality feed than the CON system, it may represent a viable alternative, producing meat of comparable quality in a shorter finishing time (around 20 months), without degrading corrected and fertilized pasture soils. Future studies could explore improvements in these high-quality, corrected, and fertilized pastures to address the deficiencies observed in this study.

Keywords: Aging; Crossbred cattle; Feedlot; Meat analysis; Improved pasture.

RESUMO GERAL

A carne de bovinos criados em sistemas de pastagens apresenta composição mais favorável de ácidos graxos, pigmentos e antioxidantes, sendo considerada mais benéfica à saúde humana. Entretanto, esses animais geralmente atingem o ponto de abate em idade mais avançada, o que exige sua terminação em confinamento para viabilizar a produção. Ao mesmo tempo, a crescente preocupação com a sustentabilidade da cadeia produtiva tem colocado em pauta estratégias para alimentar uma população mundial estimada em 9 bilhões até 2050, sem intensificar os impactos ambientais. Nesse contexto, foi desenvolvido um sistema de produção voltado à maior eficiência em áreas reduzidas de pastagem, com menor dependência de ingredientes concentrados como milho e soja e ciclo produtivo mais curto, integrando critérios de viabilidade econômica, gestão ambiental e responsabilidade social.

Este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito de três diferentes sistemas de produção de touros mestiços (1/2 Aberdeen Angus x 1/2 Nelore) sobre a qualidade da carne e o efeito de maturação. Os touros foram distribuídos aleatoriamente nestes três sistemas: PAS – touros criados e terminados em pastagem de braquiária sem adubação e correção do solo e terminados em confinamento; CON – touros criados e terminados em confinamento, e PMC – touros criados em pastagens de boa qualidade, corrigidas e fertilizadas e terminados em confinamento. Os procedimentos experimentais foram revisados e aprovados pelos respectivos comitês de ética institucionais feitos conforme a lei brasileira. A preparação das amostras foi feita pela excisão do *longissimus dorsi* (LD) de cada um dos tratamentos, resultando em dez amostras diferentes para cada uma das análises que seriam realizadas, as quais tiveram seus resultados expressos em uma média desses valores. As carnes passaram por maturação a 4 °C por um período de 1, 3, 7 e 10 dias. Foram analisados peso de carcaça, pH, espessura de gordura subcutânea, cor, textura, perda de água, oxidação lipídica pelo ensaio TBARS e atividade antioxidante usando os ensaios FRAP, ABTS e DPPH e ORAC. As análises estatísticas dos atributos da carne foram avaliadas por análise de variância (ANOVA). Foram calculadas médias e desvios-padrão para cada variável e teste de Tukey.

Nos resultados, o pH foi menor ($P < 0,05$) na carne de touros do sistema PAS e maior para o sistema PMC. A maturação aumentou ($P < 0,05$) o valor do pH em todos os tratamentos. O tempo de tratamento e maturação não teve efeito ($P > 0,05$) sobre a capacidade de retenção de água averiguada pela perda por cocção. No entanto, as perdas por descongelamento foram menores para o sistema PMC, possivelmente pela maior quantidade de gordura subcutânea e menor presença de água. Já na perda por gotejamento, os valores menores foram do sistema CON, sistema que produz maior marmoreio. O sistema de produção PAS determinou a carne com menos gordura. O tempo de maturação determinou menor luminosidade na carne. Entre os sistemas, o PAS obteve a maior luminosidade de modo geral, enquanto igualou com CON na maior vermelhidão em média. A carne dos animais no sistema PAS foi mais dura, o CON foi intermediário e o PMC mais macio. A maturação aumentou a maciez

da carne, mas deixou a carne mais escura, como era esperado. A oxidação lipídica foi maior e semelhante entre o sistema CON e PMC nos primeiros dias de maturação, passando a ser menor no sistema PMC em relação à semelhança dos outros dois sistemas após a metade do período que esteve maturando. A atividade antioxidante não apresentou diferenças significativas entre os sistemas de produção em nenhuma das análises.

Comparando os três sistemas de produção, PAS obteve os melhores resultados de coloração, considerando a maior luminosidade atrelada à vermelhidão, sem diferença estatística de CON. Essa qualidade de luminosidade e vermelho tende a induzir o consumidor à compra pelo visual, embora possua os piores valores na textura, o que era esperado pela criação do gado solto de maior trabalho muscular. O sistema CON acaba tendo os melhores resultados de modo geral, embora isso reflète em seu conhecido maior custo de produção e baixa sustentabilidade ante à maior produção de gás metano. Por fim, destaca-se que o sistema PMC é viável na criação de gado de corte, ainda que possa ser melhorado para ter resultados mais positivos. Embora tenha tido um pH mais alto entre os tratamentos, se mantendo dentro dos padrões aceitáveis, não houve diferença significativa entre os dados de capacidade de retenção de água e na atividade antioxidante entre os tratamentos. Ainda, no quesito maciez que é fator extremamente relevante para compra, o sistema PMC se mostrou intermediária entre os outros dois sistemas nos três primeiros dias de maturação e assumiu como mais macio a partir do sétimo dia, o que indica melhor capacidade para ser utilizado como matéria prima para produção de carnes maturadas a longos períodos, como os *dry aged beefs*. Considerando que o sistema de criação de touros em pastagem de boa qualidade e terminação em sistemas de confinamento utiliza menos espaço de pastoreio do que o sistema padrão brasileiro PAS e menos uso de matéria prima de boa qualidade como no sistema de CON, o sistema PMC pode ser uma alternativa viável, pois produz carne de qualidade semelhante às demais em menor tempo de abate (cerca de 20 meses), sem prejuízo do solo do pastoreio que é corrigido e fertilizado. Novos estudos podem considerar melhorar ainda mais essas pastagens de boa qualidade que são corrigidas e fertilizadas para suprir as deficiências aqui observadas.

Palavras-chave: Maturação; Bois mestiços; Confinamento; Análise de carne; Pastagem melhorada.

ARTIGO

1 **Efeitos de diferentes sistemas de produção (Pasto, Confinamento e Pastagem**
2 **melhorada + Confinamento) e da maturação na qualidade da carne de bovinos**
3 **mestiços (1/2 Angus x. 1/2 Nelore)**

4
5
6 Henrique Rorato Freire¹, Jean Fagner Pauly², Jéssica Geralda Ferracini², Bianka Rocha
7 Saraiva², Ana Carolina Pelaes Vital³, Paula Toshimi Matumoto Pintro^{2,4}, Ana Guerrero Barrado⁵,
8 Ivanor Nunes do Prado^{2,4*}

9 ¹Programa de Pós-Graduação em Ciências dos Alimentos, Centro de Ciências Agrárias,
10 Universidade Estadual de Maringá, Avenida Colombo, 5790, CEP, 87.020-900, Maringá,
11 Paraná, Brasil.

12 ²Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Departamento de Zootecnia, Universidade
13 Estadual de Maringá, Avenida Colombo, 5790, CEP, 87.020-900, Maringá.

14 ³Centro Universitário Ingá, Rodovia PR 317, 6114 Parque Industrial 200, CEP 87035-510,
15 Maringá, Paraná, Brasil.

16 ⁴Programa de Pós-Graduação em Ciências de Alimentos, Centro de Ciências Agrárias,
17 Universidade Estadual de Maringá, Avenida Colombo, 5790, CEP 87.020-900, Maringá,
18 Paraná, Brasil.

19 ⁵Departamento de Producción y Sanidad Animal, Salud Publica Veterinaria y Ciencia y
20 Tecnología de los Alimentos, Universidad Cardenal Herrera, Valência, Espanha.

21
22 *Autor correspondente: Endereço de e-mail: ptmpintro@uem.br (P. T. Matumoto-Pintro).
23 Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5700, Jd.
24 Universitário, CEP: 87020-900, Paraná, Brasil. Telefone: +55 (44) 3011-8946.

25 **Resumo**

26 A carne de bovinos criados a pasto é considerada de maior qualidade para a saúde humana
27 devido à sua composição de ácidos graxos, pigmentos e antioxidantes. Contudo, esses animais
28 são tipicamente abatidos com idade mais avançada, necessitando de terminação em
29 confinamento. Este estudo avaliou o efeito de três sistemas de produção para novilhos
30 cruzados (1/2 Aberdeen Angus x 1/2 Nelore) na qualidade da carne e a influência da
31 maturação. Os animais foram distribuídos aleatoriamente em um dos seguintes sistemas:
32 Pastagem (PAS) – criados e terminados em braquiária sem adubação e correção;
33 Confinamento (CON) – criados e terminados em confinamento; e Pastagem Melhorada com
34 Confinamento (PMC). A carne foi maturada a 4 °C por 1, 4, 7 e 10 dias. Os seguintes
35 parâmetros foram analisados: peso de carcaça, pH, espessura de gordura subcutânea, cor,
36 textura, perda de água, oxidação lipídica e atividade antioxidante. O pH da carne foi menor
37 ($P < 0,05$) no grupo PAS e maior no grupo PMC, o que pode ser devido à maior depleção de
38 glicogênio causada pelo estresse pré-abate, resultando em um pH final elevado. As perdas
39 por congelamento foram menores no grupo CON, devido ao maior teor de gordura, enquanto
40 o grupo PAS apresentou menor teor de gordura. A carne dos animais PAS foi mais dura, a do
41 CON intermediária, e a do PMC a mais macia ($P < 0,05$). A maturação melhorou a maciez
42 ($P < 0,05$), mas também aumentou o escurecimento ($P < 0,05$). O sistema PMC apresenta-se
43 como uma alternativa viável por produzir carne de alta qualidade e reduzir a idade de abate.

44

45 **Palavras-chave:** Novilhos cruzados; Confinados; Análise de carne; Pastagem corrigida.

46

47

48

49

50 **1. Introdução**

51 O sistema de produção de bovinos em pastagem é o mais utilizado no Brasil, especialmente
52 por pequenos e médios produtores, devido ao custo reduzido e menor exigência em
53 infraestrutura. Esse sistema é amplamente aceito pelo consumidor por ser considerado mais
54 natural e benéfico ao bem-estar animal, além de ter menor impacto ambiental (Llonch et al.,
55 2017). Entretanto, a carne proveniente desse sistema geralmente apresenta textura mais
56 rígida, associada à maior atividade física dos animais (Greenwood,2021; Mancini & Hunt,
57 2005).

58 Por outro lado, o sistema de confinamento utiliza dietas com alto teor energético e proteico,
59 reduzindo a idade de abate e promovendo maior deposição de gordura, especialmente
60 intramuscular, o que melhora a maciez e o sabor da carne (NRC, 2016). No entanto, esse
61 modelo demanda uma estrutura mais cara e requer mais insumos, tornando-se menos
62 sustentável em algumas regiões (Greenwood, 2021; Grasso et al., 2024).

63 Como alternativa, o sistema integrado associa pastagens corrigidas e adubadas com
64 terminação em confinamento, buscando aliar qualidade de carne, sustentabilidade e
65 viabilidade econômica (Ferracini et al., 2022; 2024; Matos et al., 2024). Este modelo, aqui
66 nomeado como pastagem melhorada e confinamento, é viável em regiões tropicais como o
67 Brasil, pois utiliza menos área de pastoreio e menos alimentos concentrados, mantendo
68 qualidade sensorial semelhante à do confinamento exclusivo.

69 A maturação da carne desempenha papel importante na melhora das propriedades
70 sensoriais, especialmente a maciez e sabor, que influencia diretamente a aceitação do produto
71 pelo consumidor (Joo et al., 2023; Kim et al., 2018). Portanto, este estudo visa avaliar os
72 efeitos desses diferentes sistemas de produção na qualidade da carne, do abate ao
73 armazenamento, inclusive observando se eles afetam o produto durante a maturação. Desta
74 maneira, será possível prover parâmetros para avaliação da viabilidade desses sistemas.

75

76

77 **2. Materiais e métodos**

78 *2.1 Materiais*

79 Ácido gálico, ácido 2,2'-azinobis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico (ABTS), 2,2-difenil-1-
80 picrilhidrazil (DPPH), dicloridrato de 2,2'-Azobis(2-metilpropionamida) (AAPH), ácido
81 etilenodiamino tetra-acético, ácido tricloroacético, ácido clorídrico, tampão fosfato, carbonato
82 de sódio, persulfato de potássio, cloreto de alumínio, álcool metílico, álcool etílico, ferricianeto
83 de potássio, fluoresceína e cloreto férrico foram obtidos da Sigma-Aldrich (EUA). O cloreto de
84 cálcio foi adquirido da Anidrol (Brasil) e o alginato de sódio da Dinamica (Brasil).

85 *2.2. Sistemas de produção*

86 Os touros foram alocados aleatoriamente em três sistemas de produção: Pastagem (PAS)
87 – criados e terminados em pastagens de baixa qualidade, sem correção ou adubação do solo;
88 Confinamento (CON) – criados em pastagens até o desmame e terminados com dieta
89 hiperenergética rica em proteínas em confinamento; e Pastagem melhorada com
90 Confinamento (PMC) – criados em pastagens corrigidas e fertilizadas, terminados em
91 confinamento. Foram selecionados dez animais de cada tratamento, totalizando trinta touros
92 utilizados no experimento.

93 *2.3. Características da carcaça*

94 Os touros foram abatidos em abatedouro comercial (Campo Mourão, Paraná, Brasil) com
95 aproximadamente 20 meses de idade (peso corporal médio de $594,1 \pm 9,1$ kg). As carcaças
96 foram divididas medialmente, pesadas para cálculo do peso da carcaça quente (PCQ), e
97 armazenadas a 4 °C por 24 h. Após esse período, foi retirada uma seção da 6ª à 13ª costelas,
98 embalada a vácuo e transportada para o laboratório, onde foi dissecada e separada para
99 análise.

100 *2.4. Preparação das amostras*

101 A carne foi obtida de touros mestiços (1/2 Angus x 1/2 Nelore) terminados em
102 confinamento e abatidos aos $20,4 \pm 10,3$ meses de idade. O peso vivo médio foi de $520,1 \pm$
103 $11,2$ kg (PAS), $599,5 \pm 9,7$ kg (CON) e $542,3 \pm 13,5$ kg (PMC). Após o abate, as carcaças

104 foram resfriadas a 4°C por 24 h. O *longissimus dorsi* (LD) foi removido da metade esquerda
105 da carcaça, embalado a vácuo e congelado a -18 °C. Antes da análise, os LD foram
106 descongelados a 4 °C por 24 h. Bifes homogêneos de 2,0 ± 0,5 cm foram obtidos e distribuídos
107 aleatoriamente para as análises. Cada amostra foi acondicionada em uma bandeja individual
108 de poliestireno revestida com um filme retrátil e armazenada refrigerada em *display*
109 iluminado, simulando as condições típicas do mercado. Além do sistema de produção, as
110 amostras dos sistemas PAS, CON e PMC foram retiradas aleatoriamente aos 1, 3, 7 e 10 dias
111 de maturação para todas análises, exceto atividade antioxidante.

112 2.5. *Espessura da gordura subcutânea*

113 A espessura da gordura subcutânea (EGS) foi mensurada utilizando um paquímetro digital
114 eletrônico. A mensuração foi realizada no músculo *longissimus thoracis* (LT), a 3/4 do seu
115 comprimento, na porção óssea entre a 12ª e a 13ª costelas.

116 2.6. *Análise de pH*

117 O pH foi determinado com um medidor de pH (HI99163, instrumentos Hanna, Eboli,
118 Salerno, Itália). O eletrodo foi calibrado e inserido no músculo entre a 12ª e a 13ª costelas. A
119 medição foi feita também na carne 24 h após o abate.

120 2.7. *Perda de água*

121 A perda por gotejamento foi medida conforme Honikel (1998), adaptado. Amostras (1,5 x
122 2 cm) do músculo LT (7ª costela) foram suspensas em funil de vidro sobre béquer a 4 °C por
123 24 h. A perda foi calculada pela diferença de peso, expressa em porcentagem.

124 Foram utilizadas amostras da 8ª costela para perdas de descongelamento e cocção. Os
125 bifes foram pesados congelados e após descongelados a 4 °C por 12 h, com perdas por
126 descongelamento calculadas pela diferença percentual.

127 Os bifes foram pesados e embrulhados em papel alumínio para cálculo da perda de cocção,
128 cozidos em grelha aquecida a 200 °C até temperatura interna de 72 °C, monitorada por
129 termômetro interno. A amostra foi então deixada em temperatura ambiente até esfriar a 25
130 °C, pesada e a perda foi calculada pela diferença percentual.

131 *2.8. Cor instrumental*

132 A cor foi avaliada usando um colorímetro Minolta CM-700 (Osaka, Japão) nos parâmetros
133 L*, a* e b*, conforme padrões da CIE. As medições foram realizadas em três pontos do
134 músculo LT, analisada após 30 min de exposição ao oxigênio.

135 *2.9. Força de cisalhamento*

136 A força de cisalhamento foi determinada conforme Wheeler et al. (1997), utilizando um
137 analisador de textura TA-XT2i (Stable Micro Systems, UK) com lâmina Warner-Bratzler.
138 Subamostras de 2,5 x 1 cm foram cortadas paralelamente às fibras musculares e testadas a
139 1,99 mm/s. Resultados expressos em kgf/cm²

140 *2.10. Oxidação lipídica*

141 A oxidação lipídica foi quantificada por TBARS (Vital et al., 2016). Amostras (5 g) foram
142 homogeneizadas com TCA 7,5%, 0.1% ácido gálico e 0.1% EDTA (10mL), centrifugadas (4
143 °C, 15 min, 4.000 rpm), e o sobrenadante filtrado foi reagido com TBARS. A absorbância foi
144 lida a 535 nm (espectrofotômetro Thermo Evolution 201). Resultados em mg MDA/kg de
145 carne.

146 *2.11. Atividade antioxidante*

147 As amostras de carne dos três tratamentos foram extraídas imediatamente após
148 preparadas (1:3 v/v com metanol), além das amostras de carne após 1 dia de maturação (1:1
149 p/v com metanol), obtidos por homogeneização (Ultra Turrax), centrifugação (15 min, 4.000
150 rpm) e filtragem. A atividade antioxidante foi avaliada usando os ensaios de FRAP, ABTS,
151 DPPH e ORAC.

152 *2.11.1. Ensaio de sequestro de radicais ABTS*

153 O radical ABTS·⁺ foi gerado pela reação de ABTS (7 mM) com persulfato de potássio (140
154 mM), incubado no escuro (25 °C, 16 h) e diluído em etanol até absorbância 0,70 ± 0,02.
155 Amostras (40 µL) foram misturadas com ABTS·⁺ (1960 µL), e a absorbância foi lida a 734 nm
156 após 6 min. A atividade antioxidante (%) foi calculada conforme Vital et al. (2016).

157 *2.11.2. Ensaio de sequestro do radical DPPH*

158 As amostras (150 μ L) foram reagidas com DPPH (60 μ M em metanol, 2850 μ L) por 30 min.
159 A absorbância foi lida a 515 nm, usando metanol como branco. A atividade antioxidante (%)
160 foi calculada conforme Vital et al. (2016).

161 *2.11.3. Ensaio FRAP*

162 No ensaio FRAP (Vital et al., 2016), amostras (250 μ L) foram incubadas com tampão fosfato
163 (50 mM, pH 7), ferricianeto de potássio (1%) e TCA (10%), seguido de centrifugação (3000
164 rpm, 10 min). O sobrenadante foi reagido com cloreto férrico (0,1%), e a absorbância foi lida
165 a 700 nm. Resultados expressos em equivalentes de ácido gálico (GAE) por 100 g⁻¹ de carne.
166 A curva padrão do ácido gálico variou de 0 a 300 mg /L⁻¹.

167 *2.11.4. Ensaio ORAC*

168 O ensaio ORAC foi realizado conforme Zulueta et al. (2009). Extratos foram diluídos em
169 tampão fosfato (0,075 M, pH 7,0) e adicionados a microplacas (25 μ L/poço) com fluoresceína
170 (0,004 μ M). A reação foi iniciada com AAPH (161,1 mM), e a fluorescência ($\lambda_{exc}/\lambda_{em} = 515$
171 nm) foi medida a cada 1 min (30 min) em leitor Perkin Elmer VICTOR X4. A atividade
172 antioxidante foi calculada pela área sob a curva e expressa em μ mol de Trolox (TE)/g de
173 amostras (Ou et al., 2001).

174 *2.12. Análises estatísticas*

175 Os dados foram analisados por ANOVA (GLM, SPSS v.15.0) em delineamento fatorial, com
176 tratamentos (PAS, CON, PMC) e tempos de maturação como fatores fixos. Teste de Tukey
177 ($P < 0,05$) foi usado para comparações.

178

179 **3. Resultados e discussão**

180 *3.1. Peso final, características de carcaça e pH dos touros ao abate*

181 A idade de abate dos touros foi semelhante ($P > 0,05$) entre os sistemas CON e PMC (Tabela
182 1), sendo inferior à média de mestiços de Angus de 22,2 meses (Pritchard, Wall, and Coffey,
183 2021), o que representa vantagem produtiva. O peso da carcaça foi maior no CON (340,09

184 kg; $P < 0,05$) em comparação ao PAS (295,50 kg), com PMC intermediário (323,23 kg),
185 refletindo o maior aporte energético do confinamento (Valadares Filho et al., 2016).

186 A EGS para touros CON (7,51 mm) e PMC (7,89 mm) foi semelhante ($P > 0,05$), e para PAS
187 foi menor (6,76 mm). A maior EGS observada em touros CON e PMC pode estar relacionada
188 ao aporte energético durante o período de recria e terminação. A EGS ficou acima do nível
189 recomendado para classificar carcaças como bem terminadas (de 3,0 a 6,0 mm) para todos
190 os sistemas, embora o comum é ser maior em animais terminados com dietas de alta
191 densidade energética em comparação com animais terminados em pastagem (Vargas et al.,
192 2021).

193 O pH 24h foi maior no PMC (5,84 mm; $P < 0,05$) em relação ao PAS (5,67 mm) e CON (5,64
194 mm). Valores no PAS e CON estavam dentro da faixa padrão (Bureš & Bartoň, 2018), enquanto
195 o pH elevado no PMC sugere uma potencial influência de estresse pré-abate, embora esteja
196 abaixo das escalas de carne escura, firme e seca (DFD) (Huang et al., 2020).

197 3.2. PH, sistema de produção e maturação da carne

198 Durante a maturação, o pH foi significativamente maior ($P < 0,05$) na carne do PMC,
199 intermediário no CON e menor no PAS, em todos os tempos avaliados (Tabela 2).

200 Os valores de pH em PAS e CON permaneceram dentro dos padrões da literatura (Bureš &
201 Bartoň, 2018; Ornaghi et al., 2020; Torrecilhas et al., 2021), ao contrário do PMC, que
202 consistentemente apresentou pH superior a 6,0, excedendo o limiar considerado aceitável
203 (Bureš & Bartoň, 2018; Page et al., 2001). Essa variação pode estar mais associada ao manejo
204 pré e pós-abate do que a fatores genéticos ou nutricionais (Matos et al., 2024). Por outro
205 lado, o pH da carne dos touros em PAS e CON permaneceu estável durante todo o período de
206 maturação, com valores próximos de 5,75.

207 No PMC, observou-se aumento significativo ($P < 0,05$) no pH ao 10º dia, alcançando valores
208 entre 6,04 e 6,39, provavelmente devido ao desenvolvimento de microrganismos. A carne
209 com pH elevado ($> 6,0$) é um ambiente favorável para a proliferação de bactérias deteriorantes
210 específicas (ex., *Brochothrix thermosphacta* e certas *Enterobacteriaceae*). Essas bactérias

211 podem metabolizar componentes musculares em compostos básicos, aumentando ainda mais
212 o pH (Odeyemi et al., 2020). A combinação de um pH inicial elevado e um período de
213 maturação de 10 dias provavelmente permitiu um crescimento bacteriano significativo,
214 levando ao aumento do pH e indicando uma vida de prateleira mais curta para o PMC neste
215 modelo de maturação a vácuo.

216 *3.3. Perdas de água*

217 As perdas por descongelamento foram semelhantes ($P>0,05$) nos sistemas PAS e CON,
218 mas maiores ($P<0,05$) no sistema PMC em todos os tempos de maturação (Tabela 3). Esses
219 valores variaram de 3,5 a 5,0% e ficaram abaixo dos 6–10% reportados em bovinos
220 confinados (Mottin et al., 2022; Pearce et al., 2011; Rivaroli et al., 2020; Torrecilhas et al.,
221 2021).

222 As perdas por gotejamento seguiram a ordem PAS > PMC > CON (0,88; 0,77; 0,60%), em
223 consonância com Alexandre et al. (2020) e Mottin et al. (2022), que observaram gotejamento
224 abaixo de 1% em animais com maior cobertura de gordura. A menor porcentagem de tecido
225 adiposo no PAS explica suas maiores perdas.

226 Não houve efeito de sistema ou tempo de maturação sobre a perda por cocção, que variou
227 entre 23 % e 27 % em todos os tratamentos, valores similares aos 25–30 % descritos para
228 novilhos alimentados com dietas hiperenergéticas (Fugita et al., 2018; Matos et al., 2024;
229 Mottin et al., 2022; Rivaroli et al., 2020).

230 As diferenças nas perdas de água estão relacionadas à porcentagem de tecido adiposo
231 ($>20\%$) e à EGS (>7 mm), ambas elevadas neste estudo, o que favorece a maior capacidade
232 de retenção de água (Pearce et al., 2011).

233 *3.4. Cor da carne*

234 Independentemente do tempo de maturação, o valor de L^* foi maior ($P<0,05$) na carne do
235 sistema PAS, intermediário no CON e menor no PMC (Tabela 4), indicando maior luminosidade
236 em PAS, com valores próximos aos 38–40 observados em bovinos de corte (Matos et al.,
237 2024; Ornaghi et al., 2020, 2024).

238 A maturação não alterou L* nos dias 1 e 3, reduziu-o no dia 7 e aumentou-o novamente
239 no dia 10, efeito semelhante em todos os tratamentos, resultados esperados já que a
240 degradação das proteínas musculares pelas enzimas proteolíticas pode afetar sua cor (Mancini
241 & Hunt, 2005).

242 Para o valor a*, nos três primeiros dias houve diferença (P<0,05) significativa, sendo PAS
243 e CON maiores que PMC, mas sem diferença entre eles do sétimo ao décimo dia além da
244 redução linear ao longo da maturação (Matos et al., 2024; Mottin et al., 2022; Ornaghi et al.,
245 2024). Produtos intermediários da oxidação lipídica podem levar à oxidação da mioglobina,
246 alterando a cor de vermelho-cereja brilhante (L*/a* elevados) para tons amarronzados (L*/a*
247 baixos) (Tomasevic et al., 2021).

248 Quanto ao b*, PAS e CON apresentaram valores semelhantes (P<0,05), ambos superiores
249 aos do PMC em todos os dias avaliados.

250 *3.5. Textura*

251 A carne de PAS apresentou maior força de cisalhamento em todos os dias, refletindo maior
252 dureza, seguida respectivamente pelo PMC e CON (Tabela 5).

253 Nos dias 1 e 3, os valores (kgf/cm²) foram 9,90 (PAS), 8,08 (PMC) e 7,47 (CON); no dia
254 7, caíram para 5,58, 3,26 e 4,78; e no dia 10, para 5,24, 2,60 e 3,59. A maior dureza no PAS
255 está relacionada à idade de abate mais avançada, maior atividade física e menor consumo de
256 dietas concentradas (NRC, 2016; Valadares Filho et al., 2016).

257 Valores acima de 5,0 kgf/cm² indicam carne dura, enquanto inferiores caracterizam carne
258 macia, ponto alcançado por CON e PMC em torno do quinto dia de maturação adiante.

259 A diminuição linear da força de cisalhamento ao longo do tempo deve-se à ação de enzimas
260 proteolíticas que degradam proteínas musculares e liberam aminoácidos umami, aumentando
261 a maciez (Pearce et al., 2011; Rios-Mera et al., 2017; Joo et al., 2023; Kim et al., 2018; Lee
262 et al., 2023).

263 *3.6 Oxidação lipídica*

264 No 1º dia de maturação, os valores de TBARS foram semelhantes ($P>0,05$) entre todas
265 amostras (Tabela 6). A partir do 3º dia, o PMC apresentou valores significativamente menores
266 ($P<0,05$) até o 10º dia, exceto no dia 3, quando CON foi similar ao PMC. É possível que a fase
267 “Pastagem melhorada” do PMC tenha enriquecido o músculo com antioxidantes, um efeito
268 protetivo que continuou através da fase de terminação em confinamento, conferindo
269 estabilidade aumentada durante a maturação. O alto nível de oxidação em CON reflete os
270 resultados encontrados por Ponnampalam et al. (2017), com menores níveis de vitamina E no
271 músculo e maior oxidação lipídica.

272 Em todos os tratamentos, os valores não ultrapassaram 0,65 mg MDA/kg, bem abaixo do
273 limiar de 2 mg/kg que compromete a aceitabilidade sensorial (Del Campo et al., 2006).
274 Nenhum sistema teve efeito geral sobre oxidação lipídica ($P>0,05$), possivelmente devido à
275 juvenilidade dos animais e à ausência de antioxidantes dietéticos. Observou-se aumento linear
276 de TBARS de 0,218 mg/kg no dia 1 a 0,578 mg/kg no dia 10, refletindo a oxidação de ácidos
277 graxos poli-insaturados, ação enzimática, variações de pH e perdas de água (Matos et al.,
278 2024; Ornaghi et al., 2020; Rivaroli et al., 2020; Torrecilhas et al., 2021).

279 *3.7. Atividade antioxidante*

280 A atividade antioxidante da carne provém tanto de compostos endógenos (vitamina E,
281 polifenóis, tocoferóis) quanto de aditivos dietéticos (Lang et al., 2024). Como cada método
282 (ABTS, DPPH, FRAP e ORAC) avalia diferentes mecanismos de ação, suas medidas devem ser
283 combinadas para um retrato completo do potencial antioxidante (Echegaray et al., 2021).
284 Estudos anteriores (Matos et al. 2020; 2024) não observaram mudanças na atividade
285 antioxidante mensurada por DPPH e FRAP ao longo da maturação, razão pela qual a análise
286 foi feita apenas do dia 1. Como esperado, não houve efeito significativo ($P>0,05$) dos sistemas
287 de produção em nenhuma das quatro metodologias (Tabela 7), tendo resultados similares à
288 Matos et al. (2020) nos ensaios DPPH e FRAP.

289 Valores mais altos no ensaio ABTS neste estudo podem indicar que ele pode ser mais
290 sensível às alterações bioquímicas específicas que ocorrem no músculo bovino, induzidas pelos

291 diferentes sistemas de produção. Os resultados dos ensaios antioxidantes ajudam a apontar
292 que estes provavelmente mediram a capacidade antioxidante predominantemente hidrofílica,
293 como compostos fenólicos, alguns peptídeos e aminoácidos com capacidade antioxidante,
294 enquanto a estabilidade lipídica superior da carne do sistema PMC pode ser impulsionada por
295 uma maior concentração de antioxidantes lipofílicos provenientes da pastagem de alta
296 qualidade, os quais não foram adequadamente diferenciados pelos testes.

297 *4. Conclusão*

298 Comparando os três sistemas de produção, o CON apresentou melhor qualidade geral da
299 carne, mas com maiores custos de modo geral e baixa sustentabilidade. O PAS gerou carne
300 de coloração mais intensa, porém mais dura. O sistema PMC, com maciez intermediária,
301 mostrou-se viável, aliando qualidade similar à de CON, menor uso de recursos naturais e
302 redução do tempo de abate (aproximadamente 20 meses), apesar de pH ligeiramente mais
303 alto, ainda dentro dos padrões aceitáveis.

304 **5. Agradecimentos**

305 Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior –
306 Brasil (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e
307 a Prime Company (Toledo, Paraná, Brasil).

308 **6. Declaração de Direitos dos Animais**

309 Os autores declaram que os procedimentos foram aprovados pelo Comitê de Ética no Uso
310 de Animais (CEUA) da Universidade Estadual de Maringá e registrado sob o número de caso
311 9827130218, e que os animais foram trabalhados conforme o Regulamento da Inspeção
312 Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA).

313 **7. Declaração de interesse conflitante**

314 Os autores declaram que não têm interesses financeiros conflitantes.

315

316

317

318

319

320 **Referências**

321 Alexandre, S., Vital, A. C. P., Mottin, C., Prado, R. M., Ornaghi, M. G., Ramos, T. R., Guerrero,
322 A., Pilau, E. J., & Prado, I. N. (2020). Use of alginate edible coating and basil (*Ocimum spp*)
323 extracts on beef characteristics during storage. *Journal of Food Science and Technology*,
324 58(10), 3835–3843. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04844-1>.

325 Bureš, D., & Bartoň, L. (2018). Performance, carcass traits and meat quality of Aberdeen
326 Angus, Gascon, Holstein and Fleckvieh finishing bulls. *Livestock Science*, 214, 231–237.
327 <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.06.017>.

328 Del Campo, M. M., Nute, G. R., Hughes, S. I., Enser, M., Wood, J. D., & Richardson, R. I.
329 (2006). Flavour perception of oxidation in beef. *Meat Science*, 72(2), 303–311.
330 <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.07.015>.

331 Echegaray, N., Pateiro, M., Munekata, P. E., Lorenzo, J. M., Chabani, Z., Farag, M. A., &
332 Domínguez, R. (2021). Measurement of antioxidant capacity of meat and meat products:
333 Methods and applications. *Molecules*, 26(13), 3880.
334 <https://doi.org/10.3390/molecules26133880>.

335 Ferracini, J. G., Lelis, A. L. J., Polli, D., Gasparim, M. B., Feba, L. T., Prado, I. N., & Millen, D.
336 D. (2024). Feedlot performance of Nelore bulls fed high-concentrate diets containing the
337 association of tannins and saponins with sodium monensin. *Revista Brasileira de Zootecnia*,
338 53(e20230104), 1–8. <https://doi.org/10.37496/rbz5320230104>.

339 Ferracini, J. G., Ligoski, B., & Prado, I. N. (2022). Bem-estar de bovinos em sistema de
340 pastagem. *PUBVET*, 16(Sup. 1), 1–5. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v16nsup1.a1307.1-5>.

341 Fugita, C. A., Prado, R. M., Valero, M. V., Bonafé, E. G., Carvalho, C. B., Guerrero, A., Sañudo,
342 C., & Prado, I. N. (2018). Effect of the inclusion of natural additives on animal performance
343 and meat quality of crossbred bulls (Angus x Nelore) finished in feedlot. *Animal Production*
344 *Science*, 58(11), 2076–2083. <https://doi.org/10.1071/AN16242>.

345 Grasso, S., Estévez, M., Lorenzo, J. M., Pateiro, M., & Ponnampalam, E. N. (2024). The
346 utilisation of agricultural by-products in processed meat products: Effects on physiochemical,
347 nutritional and sensory quality–Invited Review. *Meat Science*, 211, 109451.
348 <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2024.109451>.

349 Greenwood, P. L. (2021). An overview of beef production from pasture and feedlot globally,
350 as demand for beef and the need for sustainable practices increase. *Animal*, 15, 100295.
351 <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100295>.

352 Honikel, K. (1998). Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat.
353 *Meat Science*, 49(4), 447–457. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(98\)00034-5](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(98)00034-5).

354 Huang, C., Hou, C., Ijaz, M., Yan, T., Li, X., Li, Y., & Zhang, D. (2020). Proteomics discovery
355 of protein biomarkers linked to meat quality traits in post-mortem muscles: Current trends
356 and future prospects: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 105, 416-432.
357 <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.09.030>.

358 Joo, S. T., Lee, E. Y., Son, Y. M., Hossain, M. J., Kim, C. J., Kim, S. H., & Hwang, Y. H. (2023).
359 Aging mechanism for improving the tenderness and taste characteristics of meat. *Journal of*
360 *Animal Science and Technology*, 65(6). <https://doi.org/10.5187/JAST.2023.E110>.

361 Kim, Y. H. B., Ma, D., Setyabrata, D., Farouk, M. M., Lonergan, S. M., Huff-Lonergan, E., &
362 Hunt, M. C. (2018). Understanding postmortem biochemical processes and post-harvest aging
363 factors to develop novel smart-aging strategies. *Meat Science*, 144, 74–90.
364 <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.04.031>.

365 Lang, Y., Gao, N., Zang, Z., Meng, X., Lin, Y., Yang, S., Yang, Y., Jin, Z., & Li, B. (2024).
366 Classification and antioxidant assays of polyphenols: A review. *Journal of Future Foods*, 4(3),
367 193–204. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2023.07.002>.

368 Lee, E. Y., Rathnayake, D., Son, Y. M., Bakhsh, A., Hwang, Y. H., Seo, J. K., Kim, C. B., & Joo,
369 S. T. (2023). Effect of novel high-intensity ultrasound technique on physio-chemical, sensory
370 attributes, and microstructure of bovine semitendinosus muscle. *Food Science of Animal*
371 *Resources*, 43(1), 85. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2022.e60>.

372 Llonch, P., Haskell, M. J., Dewhurst, R. J., & Turner, S. P. (2017). Current available strategies
373 to mitigate greenhouse gas emissions in livestock systems: An animal welfare perspective.
374 *Animal*, 11(2), 274–284. <https://doi.org/10.1017/S1751731116001440>.

375 Mancini, R. A., & Hunt, M. C. (2005). Current research in meat color. *Meat Science*, 71(1),
376 100–121. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.03.003>.

377 Matos, A. M., Bonin, E., Carvalho, V. M., Duarte, V., Tagiariolli, M. A., Costa, L. F., ... & do
378 Prado, I. N. (2020). Efeito da embalagem em papel filme ou a vácuo sobre características
379 antes e após a maturação da carne de bovinos terminados em confinamento. *Pubvet*, 14, 138.
380 <https://doi.org/10.31533/pubvet.v14n5a580.1-11>.

381 Matos, A. M., Duarte, V., Carvalho, V. M., Prado, R. M., Cardoso, M. A. P., Vital, A. C. P., Costa
382 e Silva, L. F., Monteschio, J. O., Guerrero, A., & Prado, I. N. (2024). Effects of monensin only,
383 monensin and virginiamycin combination, or monensin and a blend of organic trace mineral
384 and yeast on meat quality of crossbred bulls finished in feedlot individual pens and fed with
385 high-grain diets. *Food Science and Technology*, 44(e00108), 1–8.
386 <https://doi.org/10.5327/fst.00108>.

387 Mottin, C., Ornaghi, M. G., Carvalho, V. M., Guerrero, A., Vital, A. C. P., Ramos, T. R., Bonin,
388 E., Araújo, F. L., Castilho, R. A., & Prado, I. N. (2022). Carcass characteristics and meat
389 evaluation of cattle finished in temperate pasture and supplemented with natural additive
390 containing clove, cashew oil, castor oils, and a microencapsulated blend of eugenol, thymol,
391 and vanillin. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102, 1271–1280.
392 <https://doi.org/10.1002/jsfa.11465>.

393 NRC. (2016). *Nutrient Requirements of Beef Cattle* (8th ed.). National Academies Press.
394 <https://doi.org/10.17226/19014>.

395 Odeyemi, O. A., Alegbeleye, O. O., Strateva, M., & Stratev, D. (2020). Understanding spoilage
396 microbial community and spoilage mechanisms in foods of animal origin. *Comprehensive*
397 *reviews in food science and food safety*, 19(2), 311–331. [https://doi.org/10.1111/1541-](https://doi.org/10.1111/1541-4337.12526)
398 [4337.12526](https://doi.org/10.1111/1541-4337.12526).

399 Ornaghi, M. G., Guerrero, A., Vital, A. C. P., Souza, K. A., Passetti, R. A. C., Mottin, C.,
400 Castilho, R. C., Sañudo, C., & Prado, I. N. (2020). Improvements in the quality of meat from
401 beef cattle fed natural additives. *Meat Science*, 163(108059), 1–9.
402 <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108059>.

403 Ornaghi, M. G., Passetti, R. A. C., Cardoso, M. A. P., Vital, A. C. P., Prado, R. M., Guerrero,
404 A., Rossoni, D. F., & Prado, I. N. (2024). Natural additives as a source of antioxidants improve
405 lipid oxidation, antioxidant activity, and shelf-life of beef. *South African Journal of Animal
406 Science*, 54, 58–68.

407 Ou, B., Hampsch-Woodill, M., & Prior, R. L. (2001). Development and validation of an
408 improved oxygen radical absorbance capacity assay using fluorescein as the fluorescent probe.
409 *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(10), 4619–4626.
410 <https://doi.org/10.1021/jf010586o>.

411 Page, J. K., Wulf, D. M., & Schwotzer, T. R. (2001). A survey of beef muscle color and pH.
412 *Journal of Animal Science*, 79(3), 678–687. <https://doi.org/10.2527/2001.793678x>.

413 Pearce, K. L., Rosenvold, K., Andersen, H. J., & Hopkins, D. L. (2011). Water distribution and
414 mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh
415 meat quality attributes — A review. *Meat Science*, 89(2), 111–124.
416 <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.04.007>.

417 Ponnampalam, E. N., Plozza, T., Kerr, M. G., Linden, N., Mitchell, M., Bekhit, A. E.-D. A.,
418 Jacobs, J. L., & Hopkins, D. L. (2017). Interaction of diet and long ageing period on lipid
419 oxidation and colour stability of lamb meat. *Meat Science*, 129, 43–49.
420 <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.02.008>.

421 Pritchard, T. C., Wall, E., & Coffey, M. P. (2021). Genetic parameters for carcass
422 measurements and age at slaughter in commercial cattle. *animal*, 15(2), 100090.
423 <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100090>.

424 Rios-Mera, J. D., Pinto, J. S. S., & Contreras-Castillo, C. J. (2017). Effect of ultimate pH and
425 ageing on thermal denaturation of bovine muscle proteins. *Meat Science*, 131, 25–27.
426 <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.04.017>.

427 Rivaroli, D. C., Campo, M. M., Sañudo, C., Guerrero, A., Jorge, A. M., Vital, A. C. P., Valero,
428 M. V., Prado, R. M., & Prado, I. N. (2020). Effect of an essential oils blend on meat
429 characteristics of crossbred heifers finished on a high-grain diet in a feedlot. *Animal Production*
430 *Science*, 60(4), 595–602. <https://doi.org/10.1071/AN18620>.

431 Toldrá, F. (Ed.). (2022). *Lawrie's Meat Science* (9th ed.). Woodhead Publishing.p. 11-13.

432 Tomasevic, I., Djekic, I., Font-i-Furnols, M., Terjung, N., & Lorenzo, J. M. (2021). Recent
433 advances in meat color research. *Current Opinion in Food Science*, 41, 81-87.
434 <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.02.012>.

435 Torrecilhas, J. A., Ornaghi, M. G., Passetti, R. A. C., Mottin, C., Guerrero, A., Ramos, T. R.,
436 Vital, A. C. P., Sañudo, C., Malheiros, E. B., & Prado, I. N. (2021). Meat quality of young bulls
437 finished in a feedlot and supplemented with clove or cinnamon essential oils. *Meat Science*,
438 174(108412), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108412>.

439 Valadares Filho, S. C., Costa e Silva, L. F., Gionbelli, M. P., Rotta, P. P., Marcondes, M. I.,
440 Chizzotti, M. L., & Prados, L. F. (2016). Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzado -
441 BR-Corte (Vol. 1). Universidade Federal de Viçosa. [https://doi.org/10.5935/978-85-8179-](https://doi.org/10.5935/978-85-8179-111-1.2016b001)
442 [111-1.2016b001](https://doi.org/10.5935/978-85-8179-111-1.2016b001).

443 Vargas, J. A., de S Coutinho, J. E., Gomes, D. I., Alves, K. S., Maciel, R. P., & Mezzomo, R.
444 (2021). Relação multivariada entre pH, espessura de gordura subcutânea e cor em carne
445 bovina usando a análise de correlação canônica. *Revista Colombiana de Ciencias*
446 *Pecuarias*, 34(2), 117-125. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v34n2a06>.

447 Vital, A. C. P., Guerrero, A., Monteschio, J. O., Valero, M. V., Carvalho, C. B., Abreu Filho, B.
448 A., Madrona, G. S., & Prado, I. N. (2016). Effect of edible and active coating (with rosemary
449 and oregano essential oils) on beef characteristics and consumer acceptability. *PLoS ONE*,
450 11(8), 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160535>.

451 Wheeler, T. L., Shackelford, S. D., & Koohmaraie, M. (1997). Standardizing collection and
452 interpretation of Warner-Bratzler shear force and sensory tenderness data. *Proceedings of the*
453 *Reciprocal Meat Conference*, 50, 68–77.

454 Zulueta, A., Esteve, M. J., & Frígola, A. (2009). ORAC and TEAC assays comparison to measure
455 the antioxidant capacity of food products. *Food Chemistry*, 114(1), 310–316.
456 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.033>.

457

458

459 **Declarações**

460 1. Financiamento

461 Este trabalho foi financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível
462 Superior – Brasil (CAPES) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
463 (CNPq). Os autores receberam suporte da empresa Prime Company (cidade de Toledo, Paraná,
464 Brasil). Os nomes comerciais ou produtos comerciais nesta publicação são mencionados
465 apenas para fins de fornecimento de informações específicas e não implicam recomendações
466 ou endosso do Departamento de Zootecnia, Universidade do Estado de Maringá, Paraná,
467 Brasil.

468 2. Interesses Conflitantes

469 Os autores declaram que não têm interesses financeiros concorrentes, conhecidos ou
470 relacionamentos pessoais que possam ter influenciado o trabalho relatado neste artigo.

471 3. Contribuições dos autores

472 Redação e Software: Freire, H.R. Investigação: Freire, H.R.; Pauly, J.F.; Ferracini, J.G.;
473 Vital, A.C.P.; Barrado, A.G.; Saraiva, B.R. Conceitualização: Freire, H.R.; Vital, A.C.P.; Prado,
474 R.M. Metodologia: Pauly, J.F.; Ferracini, J.G.; Vital, A.C.P.; Prado, R.M.; Barrado, A.G.;
475 Saraiva, B.R.; Matumoto-Pintro, P.T.M. Administração do projeto: Pauly, J.F.; Prado, I. N.
476 Captação de recursos: Pauly, J.F.; Prado, I. N. Análise formal: Ferracini, J.G. Curadoria de

477 dados: Barrado, A.G. Edição: Saraiva, B.R.; Matumoto-Pintro, P.T.M.; Prado, I. N. Revisão:
478 Matumoto-Pintro, P.T.M.; Prado, I. N.

479 4. Disponibilidade de dados

480 Os autores não têm permissão para compartilhar dados.

481 5. Aprovação ética

482 Os procedimentos experimentais foram revisados e aprovados pelos respectivos comitês
483 institucionais de cuidado e uso de animais da Universidade Estadual de Maringá e registrados
484 sob o caso nº. 9827130218.

485 6. Consentimento para participar

486 Os seres humanos não foram o foco do trabalho e por esta razão o consentimento
487 informado não foi necessário.

488 7. Consentimento para publicar

489 Os seres humanos não foram o foco do trabalho e por esta razão o consentimento
490 informado não foi necessário.

491

492

493

494

495

496

497

498

499

500

501 **Tabela 1:** Peso final, características de carcaça e pH 24h de touros criados e terminados em três diferentes sistemas
 502 de produção: Pastagem (PAS), Confinamento (CON) e Pastagem melhorada + Confinamento (PMC).
 503

Parâmetros	PAS	CON	PMC	EPM ¹	P<Valor ²
Idade de abate (meses)	22,00 ^a	18,00 ^c	20,00 ^b	0,016	0,012
Peso final (kg)	542,30 ^c	599,50 ^a	580,00 ^b	8,845	0,001
Peso da carcaça (kg)	295,50 ^c	340,09 ^a	323,23 ^b	5,891	0,001
Rendimento de carcaça (%)	55,35	56,73	55,73	0,556	0,071
pH 24h	5,67 ^b	5,64 ^b	5,84 ^a	0,023	0,002
Espessura da gordura subcutânea (mm)	6,76 ^b	7,51 ^a	7,89 ^a	0,737	0,021

¹Erro padrão da média (EPM). ²Valor de P. ^{a-c}As médias seguidas de letras minúsculas são diferentes entre os sistemas (P<0,05).

504

505

506 **Tabela 2:** Valor do pH da carne de touros criados e terminados em três diferentes sistemas de produção: Pastagem
 507 (PAS), Confinamento (CON) e Pastagem melhorada + Confinamento (PMC).
 508

Tempos de maturação (dias)	Sistemas			EPM ¹	P<Valor ²
	PAS	CON	PMC		
1	5,55 ^c	5,71 ^b	6,04 ^{aB}	0,013	0,042
3	5,55 ^c	5,66 ^b	6,11 ^{aB}	0,021	0,033
7	5,60 ^b	5,66 ^b	5,92 ^{aB}	0,015	0,031
10	5,57 ^c	5,80 ^b	6,39 ^{aA}	0,017	0,022
EPM ¹	0,015	0,013	0,020		
P<Valor ²	0,111	0,210	0,015		

¹Erro padrão da média (EPM). ²Valor de P. ^{a-c}As médias seguidas de letras minúsculas são diferentes entre os sistemas (P<0,05). ^{**A-B}As médias seguidas de letras maiúsculas são diferentes entre os tempos de exibição (P<0,05).

509

510

511

512

513

514 **Tabela 3:** Perdas de água devido ao descongelamento, gotejamento e cocção da carne de touros criados e terminados
 515 em três diferentes sistemas de produção: Pastagem (PAS), Confinamento (CON) e Pastagem melhorada +
 516 Confinamento (PMC).
 517

Tempos de maturação (dias)	Sistemas			EPM ¹	P<Valor ²
	PAS	CON	PMC		
Descongelamento					
1	4,57 ^a	4,59 ^a	3,43 ^b	0,283	0,031
3	4,23 ^a	4,66 ^a	3,51 ^b	0,357	0,042
7	4,75 ^a	4,51 ^a	3,85 ^b	0,430	0,015
10	5,46 ^a	4,43 ^a	3,63 ^b	0,650	0,028
EPM ¹	0,290	0,311	0,242	0,441	
P<Valor ²	0,288	0,345	0,189	0,298	
Gotejamento					
1	0,88 ^a	0,60 ^c	0,77 ^b	0,037	0,033
Cocção					
1	24,82	25,26	23,78	0,197	0,278
3	27,10	24,24	24,16	1,170	0,558
7	23,12	22,56	21,19	0,777	0,445
10	26,10	24,97	24,15	1,020	0,432
EPM ¹	0,932	0,663	0,456		
P<Valor ²	0,551	0,612	0,552		

¹Erro padrão da média (EPM). ²Valor de P. *^{a-c}As médias seguidas de letras minúsculas são diferentes entre os tratamentos (P<0,05).

518

519

520

521

522

523

524

525 **Tabela 4:** Cor da carne de bovinos criados e terminados em três diferentes sistemas de produção: Pastagem (PAS),
 526 Confinamento (CON) e Pastagem melhorada + Confinamento (PMC).
 527

Tempos de maturação (dias)	Sistemas			EPM ¹	P<Valor ²
	PAS	CON	PMC		
	L*				
1	39,69 ^{aA}	37,84 ^{bA}	35,40 ^{cA}	0,632	0,022
3	39,24 ^{aA}	39,71 ^{aA}	36,14 ^{bA}	0,894	0,018
7	36,37 ^{aB}	35,15 ^{bB}	34,26 ^{cB}	0,634	0,013
10	41,13 ^{aA}	38,46 ^{bA}	35,65 ^{cA}	0,783	0,016
EPM ¹	0,644	0,732	0,552		
P<Valor ²	0,019	0,022	0,033		
	a*				
1	14,80 ^{aA}	15,24 ^{aA}	13,16 ^{bA}	0,573	0,008
3	14,41 ^{aA}	14,90 ^{aA}	13,69 ^{bA}	0,363	0,011
7	13,75 ^B	11,23 ^B	12,37 ^B	0,412	0,312
10	7,23 ^C	7,21 ^C	7,34 ^C	0,541	0,443
EPM ¹	0,567	0,566	0,489		
P<Valor ²	0,021	0,033	0,042		
	b*				
1	14,17 ^{aA}	13,78 ^{aA}	11,98 ^{bA}	0,624	0,033
3	14,39 ^{aA}	14,42 ^{aA}	12,57 ^{bA}	0,542	0,034
7	13,81 ^{aB}	12,66 ^{aB}	10,93 ^{bB}	0,621	0,028
10	11,72 ^{aC}	10,67 ^{aC}	9,19 ^{bC}	0,430	
EPM ¹	0,452	0,552	0,478		
P<Valor ²	0,021	0,011	0,010		

¹Erro padrão da média (EPM). ²Valor de P. *^{a-c}As médias seguidas de letras minúsculas são diferentes entre os tratamentos (P<0,05). **^{A-C}As médias seguidas de letras maiúsculas são diferentes entre os tempos de exibição (P<0,05).

528

529

530

531

532

533 **Tabela 5:** Força de cisalhamento (kgf/cm²) da carne de bovinos criados e terminados em três diferentes sistemas de
 534 produção: Pastagem (PAS), Confinamento (CON) e Pastagem melhorada + Confinamento (PMC).
 535

Tempos de maturação (dias)	Sistemas			EPM ¹	P<Valor ²
	PAS	CON	PMC		
1	9,90 ^{aA}	7,47 ^{cA}	8,08 ^{bA}	0,540	0,042
3	6,93 ^{aB}	5,69 ^{bB}	5,75 ^{bB}	0,543	0,038
7	5,58 ^{aC}	4,78 ^{bC}	3,26 ^{cC}	0,232	0,021
10	5,24 ^{aC}	3,59 ^{bD}	2,60 ^{cD}	0,200	0,034
EPM ¹	0,380	0,288	0,262		
P<Valor ²	0,028	0,014	0,011		

¹Erro padrão da média (EPM). ²Valor de P. ^{a-c}As médias seguidas de letras minúsculas são diferentes entre os tratamentos (P<0,05). ^{**A-D}As médias seguidas de letras maiúsculas são diferentes entre os tempos de exibição (P<0,05).

536

537

538 **Tabela 6:** Oxidação lipídica (mg MDA/kg⁻¹ de carne) da carne de bovinos criados e terminados em três diferentes
 539 sistemas de produção: Pastagem (PAS), Confinamento (CON) e Pastagem melhorada + Confinamento (PMC).
 540
 541

Tempos de maturação (dias)	Sistemas			EPM ¹	P<Valor ²
	PAS	CON	PMC		
1	0,208 ^A	0,232 ^A	0,214 ^A	0,010	0,330
3	0,406 ^{bB}	0,343 ^{aB}	0,341 ^{aB}	0,017	0,022
7	0,646 ^{bC}	0,604 ^{bC}	0,357 ^{aB}	0,032	0,010
10	0,635 ^{bC}	0,617 ^{bC}	0,483 ^{aC}	0,027	0,021
EPM ¹	0,025	0,018	0,021		
P<Valor ²	0,011	0,013	0,015		

¹Erro padrão da média (EPM). ²Valor de P. ^{a-c}As médias seguidas de letras minúsculas são diferentes entre os tratamentos (P<0,05). ^{**A-C}As médias seguidas de letras maiúsculas são diferentes entre os tempos de exibição (P<0,05).

542

543

544 **Tabela 7:** Atividade antioxidante da carne de bovinos criados e terminados em três diferentes sistemas de produção:
545 Pastagem (PAS), Confinamento (CON) e Pastagem melhorada + Confinamento (PMC).
546

Metodologia	Sistemas			EPM ¹	P<Valor ²
	PAS	CON	PMC		
ABTS (%)	79,80	77,42	79,19	1,212	0,556
DPPH (%)	25,81	25,51	26,73	0,294	0,572
FRAP (mg GAE/100 g ⁻¹)	81,63	78,62	84,77	1,328	0,564
ORAC (μmol de TE/g)	24,65	25,55	23,88	0,702	0,577

¹Erro padrão da média (EPM). ²Valor de P. *As médias não apresentaram diferença entre os tratamentos (P<0,05).

547