UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

LUCAS ARANTES PEREIRA

**Avaliação e correlações entre modificações no
método Warner-Bratzler para a determinação da força de
cisalhamento de diferentes cortes cárneos bovinos**

Pirassununga SP
2016

LUCAS ARANTES PEREIRA

Avaliação e correlações entre modificações no método Warner-Bratzler para a determinação da força de cisalhamento de diferentes cortes cárneos bovinos

Tese apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia de Alimentos.

Área de concentração: Ciências da Engenharia de Alimentos

Orientador: Prof. Dr. Paulo José do Amaral Sobral

Pirassununga SP
2016

Ficha catalográfica elaborada pelo
Serviço de Biblioteca e Informação, FZEA/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P436a Pereira, Lucas Arantes
Avaliação e correlações entre modificações no
método Warner-Bratzler para a determinação da força
de cisalhamento de diferentes cortes cárneos
bovinos / Lucas Arantes Pereira ; orientador Paulo
José do Amaral Sobral. -- Pirassununga, 2016.
152 f.

Tese(Doutorado - Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Alimentos) -- Faculdade de Zootecnia
e Engenharia de Alimentos, Universidade de São
Paulo.

1. Maciez. 2. Equipamento. 3. Lâmina. 4.
Temperatura. 5. Resfriamento. I. Sobral, Paulo José
do Amaral, orient. II. Título.

A Deus, por ser o meu ponto de equilíbrio e à minha
amada amiga Mirian Tavares Dias Cardozo (*In memoriam*),

Ofereço

Aos meus pais Carlos e Joana e ao meu irmão
Carlos Matheus, pelo amor especial e peculiar,

Dedico

AGRADECIMENTOS

Meu primeiro e principal agradecimento se destina ao grande escritor e diretor da minha história: Deus. Muito obrigado Senhor pelo Dom da Sabedoria, por toda a força e todo o equilíbrio que me destes para chegar até aqui. Gratidão ainda por todas as maravilhosas pessoas que colocastes no meu caminho e que de alguma maneira fizeram parte desta história.

À Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da USP pela oportunidade e todos os recursos humanos e materiais disponibilizados para que este trabalho fosse realizado e minha qualificação profissional fosse obtida, ambos com a melhor qualidade possível.

Ao meu estimado orientador, Professor Dr. Paulo José do Amaral Sobral, por sua eficiência, disponibilidade, paciência, dedicação e amizade dispensados durante todos estes anos e que sem sombra de dúvida foram alguns dos principais pilares que me sustentaram até aqui.

Aos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro e do Sul de Minas Gerais, em especial aos seus respectivos gestores, por todo o apoio e incentivo dados durante a realização deste doutoramento.

A toda a minha família, em especial aos meus pais Carlos Humberto e Joana, ao meu irmão Carlos Matheus e à minha cunhada Lisandra, pelo amor, carinho incentivo, admiração e principalmente pela compreensão quanto à minha ausência devido ao grande volume de atividades acadêmicas e profissionais.

Nas palavras do escritor Augusto Cury: “Um intelectual sem amigos é um livro sem conteúdo” e no meu pensamento esta máxima é extremamente verdadeira. Sendo assim eu não poderia deixar de agradecer a alguns dos meus amigos por todo o apoio e cumplicidade, expressos em grandes e pequenas atitudes que foram essenciais para que esta etapa da minha vida fosse concluída.

Aos velhos e amados amigos Ana Carolina, Tássia, Bruno, Danielle, Dione, Carolina, Alaíde, Juciane, Mariana, Suelen, Daniel, Caio Pinheiro, Caio Ferreira, Franncyellen e Lilian. Vocês contribuem somente pelo fato de existirem, mas ainda assim estão sempre ajudando, dando forças e tornando tudo mais fácil. Minha vida é bem melhor por ter vocês!

Às minhas amadas e essenciais Tiara, Gisele Carla e em especial à Flávia que além de amiga, se tornou também uma grande parceira de trabalho. Aos grandes companheiros Agustin e Maria. Aos amigos de todas as horas Thaysa (minha amada afilhada), Hugo, Adja, Volnei, Vitor, Jaiber, Rafael Rochetti, Daniel, Carol Capellini, Leandro, Isabela, Yuri, Elayna, Jairo, Kazuo, Débora Santos, Débora Oliveira, Milla, Talita, Taíse e Sheyla. Aos amigos do LTA. Aos queridos Renan e Jhonatan. Muito obrigado a todos pela amizade e companheirismo, pelos momentos de descontração e pelas palavras de incentivo e conforto.

Aos amigos Especialistas e Técnicos de laboratório Ana Mônica, Rodrigo, Roseli, Rosilda, Elso e demais funcionários por todo o apoio incondicional prestado durante a realização do experimento. Ao professor Júlio Balieiro pelo auxílio no delineamento experimental e análises estatísticas. Ao professor Saulo Silva por ceder o Laboratório de Avaliação Animal e Qualidade de Carnes para realização de grande parte das análises. Ao amigo Tiago Milanin pelo auxílio e empréstimo do microscópio para a realização das análises de comprimento de sarcômeros. Aos estagiários Giovanni, Natasha, Isabela, Victoria, Leonardo e Lindomar pela grande ajuda durante a realização do experimento.

Um agradecimento mais que especial à minha grande amiga Lenise por ter sido a peça fundamental da realização do meu estágio nos Estados Unidos. Sou e serei eternamente grato por ter me apresentado aos professores da CSU, por ter me feito acreditar que esse sonho era possível, enfim, por transformar a minha vida fazendo acontecer aqueles 6 meses que me fizeram enxergar e viver um outro mundo.

To all professors, staff and students at Colorado State University (CSU) for having received me so well. Especially to the professors Dale Woerner, Keith Belk and Jennifer Martin, and the staff Monica and Gina. To my beloved friends Talita, Katie, Elena, Kristin and Cody. And to all my friends in the US, thank you for helping me to feel at home even though I was so far away.

Enfim, a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para que esta história fosse escrita e com ela o sonho de me tornar Doutor fosse realizado.

Muito obrigado! *Thank you!*

*“Os cientistas dizem que os humanos são feitos de átomos,
mas a mim um passarinho contou que somos feitos de histórias.”*

(Eduardo Galeano)

RESUMO

PEREIRA, L. A. **Avaliação e correlações entre modificações no método Warner-Bratzler para a determinação da força de cisalhamento de diferentes cortes cárneos bovinos.** 2016. 122 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2016.

Considerando a importância da maciez dentre os atributos de qualidade de carnes, a necessidade do estabelecimento de um método mais rápido e moderno, que forneça resultados mais precisos, com baixa variabilidade e que possa ser utilizado para a determinação da maciez instrumental de diferentes cortes cárneos é uma demanda evidente. Sendo assim, o objetivo desta tese foi estudar a maciez instrumental de diferentes cortes cárneos bovinos, testando diferentes temperaturas finais de cocção e tempos de resfriamento no preparo das amostras e utilizando diferentes equipamentos, bem como estabelecer correlações entre a maciez instrumental e diversos outros atributos de qualidade de carnes. Foram avaliados os efeitos de três temperaturas finais de cocção (65, 70 e 75 °C) e dois tempos de resfriamento das amostras (4 e 24 horas) e ainda a utilização de três diferentes equipamentos (Texturômetro TAXT2*icon* equipado com lâminas de 1 e 3 mm de espessura e Warner-Bratzler clássico) na determinação da força de cisalhamento de cinco cortes cárneos bovinos. Os cortes foram caracterizados quanto aos atributos pH, índice de fragmentação miofibrilar, temperaturas de desnaturação das proteínas Actina e Miosina, cor instrumental, teor de colágeno, comprimento de sarcômeros, composição química e perda de peso por cocção. Foram determinadas as correlações lineares entre estes atributos, entre estes atributos e as forças de cisalhamento e entre as forças de cisalhamento. Foram estudados ainda, os comportamentos mecânico e estrutural dos cortes durante a realização dos testes de determinação da força de cisalhamento por meio da microestrutura das superfícies cisalhadas e das curvas mecânicas geradas durante os testes no texturômetro. Não houve efeito significativo do tempo de resfriamento nos resultados dos testes de determinação da força de cisalhamento. O Texturômetro com lâmina de 1 mm produziu valores mais baixos, enquanto que o Warner-Bratzler provocou os maiores valores. O Texturômetro com lâmina de 3 mm provocou menor precisão nos resultados. Em quase todos os casos, a temperatura de 65 °C produziu os menores valores de força de cisalhamento, enquanto que a utilização de 75 °C provocou os maiores valores. Foram observadas baixas correlações entre os atributos de qualidade avaliados e a força de cisalhamento dos cortes em estudo. Foram determinadas quatro equações de predição de força de cisalhamento de uma técnica com base nos resultados de outra. Os equipamentos e temperaturas finais de cocção utilizados ocasionaram diferentes comportamentos mecânicos e estruturais nos cortes cárneos avaliados. O Texturômetro com lâmina de 1 mm produziu menor variação nos resultados mas ao mesmo tempo, na maioria dos casos, provocou corte ao invés de cisalhamento nas amostras. Foi possível concluir que a utilização de diferentes equipamentos e pequenas variações na temperatura

final de cocção das amostras pode ser uma grande fonte de variação nos resultados de testes de determinação da força de cisalhamento de carnes e que comparações entre resultados devem ser feitas com cautela observando estes detalhes.

Palavras-chave: Maciez, Equipamento, Lâmina, Temperatura, Resfriamento.

ABSTRACT

PEREIRA, L. A. **Evaluation and correlations among modifications in the Warner-Bratzler method for shear force determination of different beef cuts.** 2016. 117 f. PhD Thesis – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2016.

Considering the importance of tenderness among the meat quality attributes, the need to establish a faster and more modern method that provides more accurate results with low variability and can be used to determine the instrumental tenderness of different meat cuts is an obvious demand. Thus, the objective of this thesis was to study the instrumental tenderness of different beef cuts, by testing different cooking endpoint temperatures and cooling times in the sample preparation step and using different equipment, as well as to establish correlations among the instrumental tenderness and several other meat quality attributes. The effects of using three cooking endpoint temperatures (65, 70 and 75 °C) and two cooling times of the samples (4 and 24 hours) and the use of three different equipment (TAXT2icon Texturometer equipped with shear blades of 1 and 3 mm thick, and a classical Warner-Bratzler) in the shear force determination of five beef cuts were evaluated. The cuts were evaluated for pH, myofibrillar fragmentation index, denaturation temperatures of Actin and Myosin proteins, instrumental color, collagen content, sarcomere length, chemical composition and cooking loss. Linear correlations between these attributes, between these attributes and shear force results and between shear force results were determined. The mechanical and structural behaviors of the cuts during the shear force tests were studied through the microstructure of the sheared surfaces and the mechanical curves generated during the tests in the texturometer. There was no significant effect of the cooling time on shear force results. The texturometer equipped with a 1 mm blade produced lower values, while Warner-Bratzler produced the higher ones. The texturometer equipped with a 3 mm blade resulted in decreased precision in the results. In most cases, the temperature of 65 °C produced the lowest shear force values, whereas the use of 75 °C resulted in the highest ones. Low correlations among the quality attributes evaluated and the shear force results of the cuts under study were observed. Four prediction equations of shear force were determined from one technique based on the results of another. The equipment and cooking endpoint temperatures used resulted in different mechanical and structural behaviors in the beef cuts evaluated. The texturometer equipped with a 1 mm blade produced less variation in the results, but at the same time, in most cases, it caused cutting rather than shearing of the samples. It is possible to conclude that the use of different equipment and small variations in the cooking endpoint temperature of the samples may be a great source of variation in the meat shear force results and that comparisons between results should be made with caution and observing these details.

Keywords: Tenderness, Equipment, Blade, Temperature, Cooling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema da ação física do teste de cisalhamento.	22
Figura 2 – Etapas do preparo das amostras para os testes de determinação da força de cisalhamento	41
Figura 3 – Equipamento Warner-Bratzler clássico utilizado nos testes de cisalhamento.....	42
Figura 4 – Lâmina do equipamento Warner-Bratzler clássico utilizada nos testes de cisalhamento.....	43
Figura 5 – Texturômetro automatizado utilizado nos testes de cisalhamento.	44
Figura 6 – Lâmina Warner-Bratzler de 1 mm (TAXT1) utilizada nos testes de cisalhamento.....	45
Figura 7 – Lâmina Warner-Bratzler de 3 mm (TAXT3) utilizada nos testes de cisalhamento.....	45
Figura 8 – Exemplos de curvas de calorimetria diferencial de varredura obtidas para os cortes cárneos em estudo.	53
Figura 9 – Efeito do uso de diferentes temperaturas finais de cocção no preparo de amostras de cinco cortes cárneos bovinos submetidos à determinação da força de cisalhamento utilizando três diferentes equipamentos/lâminas de cisalhamento.....	77
Figura 10 – Efeito do uso de diferentes equipamentos/lâminas de cisalhamento na determinação da força de cisalhamento de cinco cortes cárneos bovinos submetidos a três temperaturas finais de cocção.	81
Figura 11 – Efeito do uso de diferentes equipamentos e temperaturas finais de cocção nos resultados da força de cisalhamento de cinco cortes cárneos bovinos.....	84
Figura 12 – Correlações entre forças de cisalhamento obtidas com diferentes equipamentos / lâminas de cisalhamento e temperaturas finais de cocção das amostras.	94
Figura 13 – Comportamento estrutural de Contrafilé (<i>Longissimus dorsi</i>) durante a realização de testes de determinação da força de cisalhamento utilizando diferentes equipamentos e submetido a diferentes temperaturas finais de cocção.....	97
Figura 14 – Comportamento mecânico de Contrafilé (<i>Longissimus dorsi</i>) durante a realização de testes de determinação da força de cisalhamento utilizando diferentes equipamentos e submetido a diferentes temperaturas finais de cocção.....	99

Figura 15 – Comportamento estrutural de Lagarto (<i>Semitendinosus</i>) durante a realização de testes de determinação da força de cisalhamento utilizando diferentes equipamentos e submetido a diferentes temperaturas finais de cocção.....	100
Figura 16 – Comportamento mecânico de Lagarto (<i>Semitendinosus</i>) durante a realização de testes de determinação da força de cisalhamento utilizando diferentes equipamentos e submetido a diferentes temperaturas finais de cocção.....	102
Figura 17 – Comportamento estrutural de Filé mignon (<i>Psoas major</i>) durante a realização de testes de determinação da força de cisalhamento utilizando diferentes equipamentos e submetido a diferentes temperaturas finais de cocção.....	103
Figura 18 – Comportamento mecânico de Filé mignon (<i>Psoas major</i>) durante a realização de testes de determinação da força de cisalhamento utilizando diferentes equipamentos e submetido a diferentes temperaturas finais de cocção.....	105
Figura 19 – Comportamento estrutural de Picanha (<i>Biceps femoris</i>) durante a realização de testes de determinação da força de cisalhamento utilizando diferentes equipamentos e submetido a diferentes temperaturas finais de cocção.....	106
Figura 20 – Comportamento mecânico de Picanha (<i>Biceps femoris</i>) durante a realização de testes de determinação da força de cisalhamento utilizando diferentes equipamentos e submetido a diferentes temperaturas finais de cocção.....	108
Figura 21 – Comportamento estrutural de Coxão duro (<i>Gastrocnemius</i>) durante a realização de testes de determinação da força de cisalhamento utilizando diferentes equipamentos e submetido a diferentes temperaturas finais de cocção.....	109
Figura 22 – Comportamento mecânico de Coxão duro (<i>Gastrocnemius</i>) durante a realização de testes de determinação da força de cisalhamento utilizando diferentes equipamentos e submetido a diferentes temperaturas finais de cocção.....	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tratamentos realizados na etapa de preparo das amostras.	40
Tabela 2 – Resumo da análise de variância dos parâmetros de caracterização físico-química e bioquímica dos cortes.....	50
Tabela 3 – Caracterização físico-química e bioquímica de cinco cortes cárneos bovinos <i>in natura</i>	51
Tabela 4 – Resumo da análise de variância da composição química de cinco cortes cárneos bovinos submetidos a diferentes temperaturas finais de cocção.....	56
Tabela 5 – Desdobramento da composição química (g/100 g em base úmida) de cinco cortes bovinos submetidos a diferentes temperaturas finais de cocção. ..	57
Tabela 6 – Resumo da análise de variância das perdas de peso por cocção de cinco cortes cárneos bovinos submetidos a diferentes temperaturas finais de cocção.	59
Tabela 7 – Desdobramento dos percentuais (%) de perdas de peso por cocção de cinco cortes bovinos submetidos a diferentes temperaturas finais de cocção. ..	60
Tabela 8 – Resumo da análise de variância das forças de cisalhamento de cinco cortes cárneos bovinos submetidos a diferentes temperaturas finais de cocção e tempos de resfriamento obtidas utilizando diferentes equipamentos.....	63
Tabela 9 – Análise estatística descritiva dos resultados de testes de determinação da força de cisalhamento de Contrafilé utilizando diferentes Tempos de resfriamento, Temperaturas finais de cocção e Equipamentos / Lâminas de cisalhamento.....	66
Tabela 10 – Análise estatística descritiva dos resultados de testes de determinação da força de cisalhamento de Lagarto utilizando diferentes Tempos de resfriamento, Temperaturas finais de cocção e Equipamentos / Lâminas de cisalhamento.....	67
Tabela 11 – Análise estatística descritiva dos resultados de testes de determinação da força de cisalhamento de Filé mignon utilizando diferentes Tempos de resfriamento, Temperaturas finais de cocção e Equipamentos / Lâminas de cisalhamento.....	69
Tabela 12 – Análise estatística descritiva dos resultados de testes de determinação da força de cisalhamento de Picanha utilizando diferentes Tempos de resfriamento, Temperaturas finais de cocção e Equipamentos / Lâminas de cisalhamento.....	71
Tabela 13 – Análise estatística descritiva dos resultados de testes de determinação da força de cisalhamento de Coxão duro utilizando diferentes Tempos de	

resfriamento, Temperaturas finais de cocção e Equipamentos / Lâminas de cisalhamento.....	73
Tabela 14 – Resumo das condições que ocasionaram maior e menor precisão ¹ nos resultados de testes de determinação da força de cisalhamento dos cinco cortes cárneos em estudo.....	74
Tabela 15 – Desdobramento dos efeitos do uso de diferentes Equipamentos/Lâminas e Temperaturas finais de cocção nos resultados de teste de determinação da força de cisalhamento de cinco cortes cárneos pelo método Warner-Bratzler.....	75
Tabela 16 – Coeficientes de correlação de Pearson entre parâmetros de qualidade e forças de cisalhamento de cinco cortes bovinos medidas utilizando diferentes equipamentos e temperaturas finais de cocção das amostras.....	87
Tabela 17 – Coeficientes de correlação de Pearson entre forças de cisalhamento de cinco cortes bovinos medidas utilizando diferentes equipamentos e temperaturas finais de cocção das amostras.....	90
Tabela 18 – Equações obtidas pelas análises de regressão entre as combinações com maiores coeficientes de correlação de <i>Pearson</i>	93

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	OBJETIVOS.....	19
2.1	Objetivo Geral.....	19
2.2	Objetivos Específicos	19
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
3.1	Estrutura da carne	20
3.2	Determinação objetiva da maciez de carnes	22
3.3	Cocção da amostra para testes de cisalhamento	25
3.4	Parâmetros de qualidade em carnes	26
3.4.1	Teor de gordura.....	26
3.4.2	Índice de fragmentação miofibrilar	27
3.4.3	Comprimento do sarcômero	28
3.4.4	Colágeno	29
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	31
4.1	Caracterização físico-química e bioquímica das amostras.....	31
4.1.1	pH.....	31
4.1.2	Índice de Fragmentação Miofibrilar	32
4.1.3	Comprimento de Sarcômeros.....	34
4.1.4	Desnaturação proteica	35
4.1.5	Teor de Colágeno.....	36
4.1.6	Cor instrumental	38
4.1.7	Perda de peso por cocção.....	38
4.1.8	Composição química das amostras após cocção	39
4.2	Determinação da força de cisalhamento	39
4.2.1	Preparo das amostras	39

4.2.2	Testes de determinação da força de cisalhamento	41
4.3	Microestrutura das superfícies cisalhadas das amostras	46
4.4	Correlações entre os resultados dos testes de determinação da força de cisalhamento e alguns parâmetros de qualidade de carne.....	47
4.5	Análises estatísticas	47
4.5.1	Caracterização dos cortes.....	47
4.5.2	Força de cisalhamento	48
4.5.3	Correlações	49
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
5.1	Caracterização físico-química e bioquímica dos cortes cárneos <i>in natura</i> e após Cocção utilizando diferentes temperaturas finais de cocção	50
5.2	Força de cisalhamento dos cortes cárneos submetidos a três temperaturas finais de cocção, dois tempos de resfriamento e utilizando três equipamentos/lâminas.....	62
5.3	Correlações entre atributos de qualidade de carnes e resultados de força de cisalhamento.....	85
5.4	Comportamento mecânico e estrutural dos cortes cárneos submetidos a diferentes temperaturas finais de cocção durante testes de cisalhamento utilizando diferentes equipamentos e lâminas	96
	CONCLUSÕES	114
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116
	APÊNDICE A – Relatório final do experimento realizado no <i>Center for Meat Safety and Quality</i> da <i>Colorado State University</i> (Fort Collins CO, Estados Unidos)	123

1 INTRODUÇÃO

A maciez possui posição de destaque entre os atributos de qualidade de carnes, sendo considerada como a característica sensorial que mais exerce influência na aceitação deste produto por parte dos consumidores. Por este e outros motivos, há muito tempo pesquisas vêm sendo realizadas com o objetivo de melhor compreender e determinar a maciez de carnes (ARANTES-PEREIRA; VARGAS; SOBRAL, 2016; BOURNE, 2002; DERINGTON et al., 2011).

A maciez da carne pode ser medida por meio de métodos subjetivos ou objetivos. Nos métodos subjetivos são utilizados painéis sensoriais em que um grupo de pessoas treinadas classifica a carne em relação à maciez após ter provado as amostras. Os métodos objetivos utilizam equipamentos, como os analisadores de textura ou texturômetros por exemplo, que medem a força necessária para o cisalhamento de uma amostra de carne e, quanto maior a força dispensada, menor é a sua maciez.

Dentre os métodos objetivos utilizados para a determinação da maciez de carnes, o Warner-Bratzler é, sem dúvida, o mais antigo e amplamente utilizado. Para tal, um equipamento foi desenvolvido na década de 1930 e após sofrer algumas modificações no design original foi determinado pela *American Meat Science Association* (AMSA) como o método padrão para análise da maciez de carnes (AMSA, 2015; WHEELER; SHACKELFORD; KOOHMARAIE, 1997).

Após o surgimento e a padronização do Warner-Bratzler pela AMSA, muitos outros equipamentos foram desenvolvidos e/ou adaptados para a utilização na determinação da maciez de carnes, o que fez inclusive, com que muitos pesquisadores aderissem ao uso desses equipamentos alternativos, visto que o

Warner-Bratzler clássico é um dispositivo exclusivamente mecânico e pouco versátil. Porém por mais que os fabricantes tentem ao máximo seguir os padrões do Warner-Bratzler original, pequenas diferenças no design ou no modo de trabalho do equipamento podem ser suficientes para provocar diferenças nos resultados das análises (CAVITT et al., 2005; DERINGTON et al., 2011; LORENZEN et al., 2010; PINTO; PONSANO; ALMEIDA, 2010; XIONG et al., 2006), e este é um grande problema encontrado pelos pesquisadores e indústrias atualmente.

Modificações no protocolo original do método Warner-Bratzler, tais como o uso de diferentes equipamentos e espessuras da lâmina de cisalhamento, temperaturas finais de cocção e tempos de resfriamento das amostras são frequentemente encontradas na literatura e, por se tratar de um método complexo e que envolve diversas etapas, estas modificações certamente são causas de variação nos resultados.

Uma outra questão é o fato de que na maioria dos casos (Pesquisas e Indústrias), apenas o músculo *Longissimus* é analisado quanto à maciez, e muitas vezes este músculo é utilizado como indicador da qualidade de carcaças. Esta prática pode ser considerada como uma limitação tecnológica, uma vez que já foi demonstrado que há baixa associação entre os parâmetros de maciez sensorial e instrumental de diferentes músculos (HILDRUM et al., 2009) e que os efeitos de um tratamento tecnológico específico podem ser diferentes se aplicado em diferentes músculos (WHEELER; SHACKELFORD; KOOHMARAIE, 1996).

O estabelecimento de correlações entre a maciez e diversos outros parâmetros de qualidade de carnes como Índice de Fragmentação Miofibrilar (CULLER et al., 1978; HOPKINS; THOMPSON, 2001; MARINO et al., 2013; OLSON; PARRISH JR, 1977; OLSON; PARRISH JR; STROMER, 1976; PRADO;

FELÍCIO, 2010), Comprimento de sarcômeros (HOPKINS et al., 2011; HWANG et al., 2004, 2010; SMULDERS et al., 1990; WEAVER; BOWKER; GERRARD, 2008), teor de Colágeno (MCKEITH et al., 1985; RHEE et al., 2004; WHEELER; SHACKELFORD; KOOHMARAIE, 2000), Cor (BAUBLITS et al., 2006; FRYLINCK et al., 2013; JACKMAN et al., 2010; KHLIJI et al., 2010; LORENZO; PATEIRO; FRANCO, 2013), dentre outros, tem ganhado interesse, mas na maioria dos casos, são encontradas correlações variando de muito baixas a muito altas.

Considerando a importância da carne no cenário mundial e que os consumidores estão cada vez mais dispostos a pagarem mais por carnes mais macias (BOLEMAN; BOLEMAN, 1997), um melhor entendimento dos fatores que comprometem a qualidade dos resultados da determinação objetiva da maciez de carnes bem como a possibilidade de utilização de diferentes músculos em análises deste tipo, podem ter grande importância científica e econômica e foram o tema central desta tese.

Além do experimento principal, ao final desta tese (Apêndice A) está apresentado o relatório final, em língua inglesa, de outro experimento realizado durante os meses de junho a novembro de 2015 no *Center for Meat Safety and Quality* da *Colorado State University* (Fort Collins CO, Estados Unidos) com o objetivo de avaliar o impacto da utilização de diferentes percentuais de umidade relativa durante o processo de cocção, na maciez, estabilidade proteica e aparência do corte bovino americano *Rib eye*. Este experimento foi viabilizado por meio de estágio na modalidade de Doutorado Sanduíche no Exterior, financiado pelo Programa Ciência sem Fronteiras do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) sob o Processo número: 206188/2014-5.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta tese foi estudar a maciez instrumental de diferentes cortes de carne bovina, testando diferentes temperaturas finais de cocção e tempos de resfriamento no preparo da amostra e utilizando diferentes equipamentos. Esse estudo permitiu o estabelecimento de correlações entre a maciez instrumental e diversos outros parâmetros de qualidade.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Avaliar o método Warner-Bratzler em diferentes cortes cárneos bovinos, submetidos a diferentes temperaturas de cocção e tempos de resfriamento, e diferentes equipamentos/lâminas de cisalhamento;
- b) Estudar o comportamento mecânico e estrutural dos cortes cárneos quando submetidos aos diferentes métodos e condições de análise propostos, por meio das curvas mecânicas de força x distância geradas durante os testes e microscopia eletrônica de varredura das superfícies cisalhadas;
- c) Estabelecer correlações entre os resultados de força de cisalhamento com alguns dos principais atributos de qualidade de carnes.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Estrutura da carne

Dentre os tecidos que compõem as carnes, os que são encontrados em maior quantidade e exercem maior influência na qualidade do produto são o tecido conjuntivo e tecido muscular, sendo o tecido muscular, o de maior valor econômico. As propriedades e as quantidades desses tecidos são responsáveis, em parte, pela qualidade e maciez da carne (PARDI, 2006; TRINDADE; GRESSONI JUNIOR, 2008).

O tecido muscular é composto por fibras musculares. As fibras musculares são células longas, estreitas e multinucleadas que podem se estender de uma ponta a outra do músculo, chegando a atingir o comprimento de 34 cm, porém possuindo apenas de 10 a 100 μm de diâmetro. Quase todo o interior das fibras musculares é preenchido por miofibrilas, estruturas cilíndricas, compridas e delgadas, com diâmetro de 1 a 2 μm , orientadas no sentido longitudinal das fibras. As miofibrilas são agrupadas de modo que algumas regiões (bandas) fiquem sincronizadas, formando faixas claras (Bandas I) e escuras (Bandas A). A banda I é dividida ao meio por uma linha transversal escura, chamada linha Z. A unidade estrutural repetitiva da miofibrila, onde ocorre o ciclo de contração e relaxamento do músculo é o sarcômero, que é definido como o segmento entre duas linhas Z consecutivas. No centro da banda A, existe uma região (Zona H), que por sua vez é atravessada por uma linha estreita e escura (Linha M). Dessa forma, um sarcômero inclui uma banda A e duas metades de bandas I (LAWRIE, 2006; TRINDADE; GRESSONI JUNIOR, 2008).

Durante o processamento térmico, as proteínas da carne são desnaturadas e conseqüentemente são causadas mudanças estruturais como destruição de membranas celulares, encurtamento de fibras musculares, agregação e formação de gel de proteínas miofibrilares e sarcoplasmáticas e encurtamento e solubilização de tecido conjuntivo (TORNBERG, 2005).

Técnicas de microscopia eletrônica de varredura e de transmissão têm sido amplamente utilizadas para observar detalhes de mudanças estruturais de uma variedade de materiais e tratamentos (PALKA; DAUN, 1999). O diâmetro das fibras musculares e o comprimento dos sarcômeros por exemplo, podem ser observados em microscópio eletrônico de varredura e são fortemente relacionados com a maciez da carne (LI et al., 2013).

O grau de maciez da carne pode ser relacionado com três classes de proteínas no músculo: proteínas do tecido conjuntivo como colágeno, elastina e reticulina; proteínas da miofibrila como actina, miosina e tropomiosina; e proteínas sarcoplasmáticas (LAWRIE, 2006). Esta divisão contribui para explicar resultados conflitantes encontrados na literatura sobre diferenças de maciez da carne e também porque certos trabalhos apresentam correlação entre quantidade de tecido conjuntivo e dureza, enquanto outros não encontraram boa correlação, já que os tecidos conjuntivos contribuem com apenas um dos fatores responsáveis pela dureza (SGARBIERI, 1996). Talvez por causa disso, alguns pesquisadores têm evidenciado a importância e interferência da microestrutura na textura de carnes (ALVES; DE GOES; MANCIO, 2005; ALVES; MANCIO, 2007; GOLL et al., 1992; YOKOTA et al., 2008).

3.2 Determinação objetiva da maciez de carnes

A avaliação instrumental da maciez pela mensuração da força de cisalhamento tem sido a principal ferramenta utilizada em carnes (DE HUIDOBRO, et al., 2005; PINTO et al., 2010). A força de cisalhamento é definida como a força que divide a amostra em partes contíguas por um deslizamento relativo de uma sobre a outra, numa direção paralela aos seus planos de contato, obtendo a separação da amostra quando se aplica força de corte ou uma mudança de posição. Segundo Chaib (1973), a combinação dos métodos de compressão e cisalhamento simula a mesma ação causada pelos dentes nos alimentos, ou seja, compressão seguida de cisalhamento. A ação física causada pelos equipamentos na amostra durante o teste de cisalhamento está esquematicamente ilustrada na Figura 1.

Figura 1 – Esquema da ação física do teste de cisalhamento.

A = Amostra integral antes do início do teste; B = Amostra deformada para se acomodar ao espaço livre; C = Amostra; D = Vista da lateral da lâmina; T = Tensão de tração. Fonte: BOURNE, M. C. **Food texture and viscosity: concept and measurement**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 2002. p. 135.

Dentre os equipamentos utilizados para determinação da força de cisalhamento de carnes, o mais utilizado é o Warner-Bratzler. A teoria básica e o

design original do Warner-Bratzler foram desenvolvidos em 1928 por K. F. Warner e em 1932 o equipamento sofreu algumas modificações propostas por L. J. Bratzler, que tornaram o equipamento da forma que é utilizado até hoje. O Warner-Bratzler é um dispositivo exclusivamente mecânico, composto por uma lâmina de aço com espessura de aproximadamente 1,01 mm e um orifício triangular no meio, encaixada em uma esquadria que desliza a amostra através da lâmina promovendo o cisalhamento. A força máxima exercida durante o teste é tomada como a força de cisalhamento que por sua vez é relacionada com a maciez da amostra (WHEELER; SHACKELFORD; KOOHMARAIE, 1997).

Após o surgimento do Warner-Bratzler, outros equipamentos foram desenvolvidos e/ou adaptados para mensurarem a força de cisalhamento. Atualmente, outro equipamento amplamente utilizado para esta finalidade é o Texturômetro digital, genericamente conhecido como Equipamento Universal de Testes, com destaque para o modelo TAXT e suas versões posteriores produzido pela *Stable Micro System*.

O texturômetro é um equipamento moderno e computadorizado utilizado para determinação dos mais diversos parâmetros de textura de alimentos e outros produtos. O equipamento é fornecido com a lâmina de cisalhamento padrão Warner-Bratzler, de 1,016 mm de espessura, porém por algum tempo foi comercializado com uma lâmina de cisalhamento de 3,05 mm. Essa diferença na espessura da lâmina de cisalhamento é uma causa de variação que deve ser controlada, e estudos sobre o assunto ainda são escassos.

Lu e Chen (1999) indicaram que há uma grande dificuldade em se relacionar propriedades mecânicas da carne com os valores obtidos no método Warner-Bratzler. Segundo esses autores, a premissa de que a força de cisalhamento é a

principal responsável pela ruptura da amostra durante o teste é controversa. Esses autores determinaram medidas da força de cisalhamento obtidas com Warner-Bratzler e algumas propriedades de tensão dos músculos *Biceps femoris*, *Longissimus dorsi*, *Semimembranosus* e *Semitendinosus* crus e cozidos. Ao final do trabalho, os autores concluíram que a cocção provocou aumento significativo na resistência à tração (força aplicada em direções opostas no sentido longitudinal às fibras) em todos os quatro músculos, enquanto diminuiu ou não causou efeito significativo na força de cisalhamento.

Stanley e Tung (1976) indicaram que uma grande desvantagem do método Warner-Bratzler é que ele combina duas propriedades que podem ou não ser dependentes uma da outra. Estas propriedades são a firmeza, definida pela força aplicada na compressão da amostra e a maciez, definida como a força máxima aplicada no rompimento. A firmeza é medida transversalmente em relação às fibras de carne, indicativo de compressão e a maciez ao longo do eixo da fibra, característica de tensão (STANLEY e TUNG, 1976).

Modificações no protocolo original do método Warner-Bratzler são frequentemente observadas na literatura e, por se tratar de um método complexo e que envolve diversas etapas, estas modificações certamente são causa de variação nos resultados. Algumas das alterações mais frequentes são o uso de diferentes equipamentos (GIRARD et al., 2012; REUTER et al., 2002; WYRWISZ et al., 2012), temperatura e tempo de resfriamento (BELEW et al., 2003; LORENZEN et al., 2010; OBUZ et al., 2004) e espessura da lâmina de cisalhamento (ARANTES-PEREIRA et al., 2016; PINTO; PONSANO; ALMEIDA, 2010; SOUZA, 2008). Além disso, na prática, muitas vezes é difícil controlar seguramente a temperatura final de cocção das amostras previamente aos testes, e já foi demonstrado que variações nesta

temperatura podem afetar os resultados (OBUZ et al., 2004; PALKA; DAUN, 1999).

3.3 Cocção da amostra para testes de cisalhamento

A cocção da carne implica em aquecimento a uma temperatura suficiente para causar desnaturação das proteínas miofibrilares com consequente encolhimento e endurecimento do tecido, diminuição da capacidade de retenção de água, que está ligada à suculência e mudanças na coloração, destruição das membranas celulares, formação e agregação de gel de proteínas miofibrilares e sarcoplasmáticas e encolhimento e solubilização do tecido conjuntivo. Sendo assim, temperatura e tempo de Cocção exercem grande efeito nas propriedades físicas e consequentemente na qualidade sensorial da carne (DAVEY; GILBERT, 1974; TORNBERG, 2005; GARCÍA-SEGOVIA; ANDRÉS-BELLO; MARTÍNEZ-MONZÓ, 2007; HAMM, 1983; TORNBERG, 2005).

Vários estudos têm sido realizados visando avaliar o efeito do uso de diferentes temperaturas e equipamentos de cocção nos resultados da maciez de carnes medida usando Warner-Bratzler em diferentes músculos (KERTH; BLAIR-KERTH; JONES, 2003; LAWRENCE et al., 2001; MCKENNA; KING; SAVELL, 2004; YANCEY; WHARTON; APPLE, 2011). A maioria desses autores quase sempre encontraram diferenças significativas entre os resultados e também na repetibilidade dos mesmos. Wheeler et al. (1996) sugeriram que os efeitos de um tratamento específico podem ser diferentes se aplicado em diferentes músculos.

3.4 Parâmetros de qualidade em carnes

3.4.1 Teor de gordura

A presença de gordura na carne contribui para melhores características sensoriais, principalmente sabor, maciez e suculência (MORAES, 2004; TRINDADE; GRESSONI JUNIOR, 2008), sendo que a gordura subcutânea e a intramuscular (de marmoreio) são as que exercem maior efeito sobre a textura da carne, quando avaliada subjetivamente (PEREIRA, 2002).

A gordura de marmoreio favorece a mastigação pois diminui a densidade da carne, confere um efeito lubrificante e diminui a tensão entre as camadas de tecido conjuntivo. Além disso, a gordura possui capacidade de provocar maior salivação (ALVES; DE GOES; MANCIO, 2005; PEREIRA, 2002). Apesar de exercer grande influência sobre a aceitabilidade da carne, o teor de gordura intramuscular contribui muito pouco para explicar as variações na maciez instrumental de carnes (CAMPION; CROUSE; DIKEMAN, 1975; JONES; TATUM, 1994).

Koohmaraie (1992) atribuiu 15% da variabilidade na maciez da carne bovina às diferenças na quantidade de marmoreio e teor de colágeno na carne. Resultados similares foram obtidos por Campion et al. (1975), que observaram que apenas 4 a 8% da variação na maciez foi explicada pela gordura de marmoreio.

Vaz et al. (2001), estudando as características da carne de bovinos inteiros e castrados, observaram relação entre o teor de gordura e a maciez medida pelo método Warner-Bratzler. Os animais castrados apresentaram carne com maior teor de gordura e maior maciez enquanto com a carne dos animais inteiros ocorreu o contrário. Pedrão et al. (2009), ao estudarem a composição química e maciez de Cupim e Contra filé, também encontraram a mesma relação entre o teor de gordura

e a maciez instrumental. Esses autores atribuíram este comportamento à provável ação lubrificante da gordura em relação à penetração da lâmina na amostra.

3.4.2 Índice de fragmentação miofibrilar

A perda *post mortem* da integridade estrutural das fibras musculares é um dos principais fatores que afetam a maciez da carne. Este é o motivo pelo qual o tratamento com enzimas proteolíticas é um dos mais populares métodos utilizados para o amaciamento da carne (SHIN et al., 2008).

Uma forma comum de se avaliar o grau de integridade estrutural das fibras musculares é por meio da determinação do Índice de Fragmentação Miofibrilar (IFM), sendo mensurado basicamente o tamanho médio das miofibrilas. Miofibrilas mais curtas resultam em maiores valores para o IFM, que está diretamente relacionado com maior maciez das carnes (KOOHMARAIE, 1994; TAYLOR et al., 1995). Em tese, o enfraquecimento e/ou degradação das linhas Z e a degradação da Desmina e, provavelmente, da Titina são responsáveis pelo aumento da fragilidade das miofibrilas durante o período *post mortem* (PRADO, 2005).

Dentre as técnicas usados para avaliar o IFM, a principal delas é uma técnica que envolve homogeneização muscular, seguida da determinação do conteúdo proteico e medida da turbidez da solução, previamente ajustada a uma concentração proteica padrão. A técnica baseia-se na resistência das miofibrilas à quebra promovida pelo processo de homogeneização, ou seja, quanto mais "fracas", mais facilmente são quebradas em fragmentos menores. Essa maior facilidade de quebra está relacionada a uma maior maciez da carne (RAMOS; GOMIDE, 2009).

Olson et al. (1976) e Culler et al. (1978) reportaram que o IFM tem uma alta correlação com medidas de maciez da carne, inclusive com a análise sensorial. Além disso, Olson e Parrish (1977) observaram que este índice é responsável por cerca de 50% das variações nos resultados de maciez.

3.4.3 Comprimento do sarcômero

Uma das principais causas do endurecimento da carne *post mortem* é a interação das proteínas actina e miosina que formam o complexo acto-miosina e por sua vez promovem o encurtamento do sarcômero, unidade básica das miofibrilas e responsável pela contração muscular. Sendo assim, o comprimento do sarcômero é um fator que, em tese, possui uma forte correlação com a maciez da carne (HOPKINS et al., 2011).

Um outro fenômeno relacionado com o encurtamento do sarcômero, conhecido como *cold shortening* ou encurtamento pelo frio é causado pela exposição do músculo a baixas temperaturas antes do estabelecimento do *rigor mortis* (PARRISH et al., 1973). Nesse processo, o tecido muscular sofre maior encurtamento quando está em pré-rigor e na temperatura entre 2 e 37 °C, exceto na faixa de temperatura entre 14 e 19 °C, onde o encurtamento é mínimo (HERTZMAN; OLSSON; TORNBERG, 1993; LOCKER; HAGYARD, 1963). Caso este processo resulte em um encurtamento superior a 20 %, ocorre prejuízo perceptível da maciez (FERNANDES et al., 2006).

O valor da força de cisalhamento de uma carne é reflexo de vários fatores, porém principalmente do comprimento do sarcômero e do grau de proteólise. No

entanto, a interação entre esses dois fatores ainda não está clara (WEAVER; BOWKER; GERRARD, 2008).

Por outro lado, o encurtamento do sarcômero de forma isolada, pode não ser a causa do endurecimento da carne, uma vez que por exemplo, sarcômeros encurtados pelo calor desempenham baixo efeito na força de cisalhamento. Este fato, sugere que o efeito do comprimento do sarcômero na maciez da carne é dependente da causa do encurtamento muscular (HWANG et al., 2004).

O conceito de encurtamento/endurecimento é frequentemente utilizado para explicar variações na maciez de carnes e tem contribuído bastante para o desenvolvimento de processos industriais utilizados para reduzir o problema de endurecimento (LOCKER; HAGYARD, 1963; MARSH; LEET, 1966; SMULDERS et al., 1990). Sendo assim, estudos acerca das correlações existentes entre o comprimento do sarcômero e a maciez bem como com outros parâmetros de qualidade da carne podem fornecer informações importantes a respeito das variações na maciez.

3.4.4 Colágeno

O colágeno é uma das mais importantes proteínas dos tecidos conjuntivos presente na carne, sendo caracterizado pelo alto conteúdo dos aminoácidos Glicina, Prolina, Hidroxiprolina e completa ausência de aminoácidos sulfurados e Triptofano. O colágeno está presente em todos os órgãos e tecidos animais, sendo que no músculo representa apenas 2 % do total de proteínas, porém é responsável por muitas mudanças que ocorrem na textura da carne durante a cocção (POWELL; HUNT; DIKEMAN, 2000; TRINDADE; GRESSONI JUNIOR, 2008).

As fibras de colágeno apresentam ligações cruzadas entre si, o que está relacionado com sua forte insolubilidade e resistência à tensão. Quando o animal é muito jovem, a proporção de colágeno é maior, porém é facilmente gelatinizado pela ação do calor úmido, contribuindo para uma textura mais macia da carne. Já em animais adultos a proporção de colágeno é menor, porém com o tempo ocorre o aumento e maior estabilidade das ligações cruzadas nas moléculas de colágeno, o que confere termoestabilidade, não havendo gelatinização térmica, o que torna a carne menos macia (POWELL; HUNT; DIKEMAN, 2000; TRINDADE; GRESSONI JUNIOR, 2008).

Young e Braggins (1993) estudaram a relativa contribuição da concentração e solubilidade do colágeno na determinação da maciez da carne de ovelhas. Esses autores observaram que a concentração foi o fator predominante na análise sensorial, enquanto a solubilidade foi mais associada com a determinação instrumental da força de cisalhamento.

De acordo com Lepetit (2007), nas carnes *in natura*, há uma forte relação entre a maciez e conteúdo de colágeno, porém nas carnes cozidas, esta relação é bem menor. Wheeler et al. (2000), estudando diferentes músculos suínos, encontraram conteúdos de colágeno de 5,3; 6,0; 4,1; 4,5 e 7,1 mg/g de carne, e coeficientes de correlação com a maciez medida utilizando painel sensorial treinado de 0.10, 0.11, -0.21, -0.26 e 0.2 para os músculos *Semitendinosus*, *Triceps brachii*, *Longissimus*, *Semimembranosus* e *Biceps femoris*, respectivamente, demonstrando que há grande variabilidade das correlações existentes entre estes atributos de qualidade.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização físico-química e bioquímica das amostras

Foram utilizadas amostras dos seguintes cortes cárneos bovinos: Contrafilé (*Longissimus dorsi*), Lagarto (*Semitendinosus*), Filé mignon (*Psoas major*), Picanha (*Biceps femoris*) e Coxão duro (*Gastrocnemius*). Estes cortes foram escolhido de modo a se trabalhar com amostras variando desde muito macias até muito duras e consequentemente uma maior amplitude de resultados nos testes de determinação da força de cisalhamento.

As amostras foram provenientes de seis animais (bovinos) provenientes da Prefeitura do Campus USP Fernando Costa, localizado em Pirassununga SP. Após o abate e a desossa, as amostras dos cortes cárneos foram embaladas a vácuo e mantidas sob refrigeração até o momento de realização das análises. De cada animal abatido foram utilizadas, uma ou duas peças inteiras de cada corte cárneo, de acordo com o tamanho das peças, de forma que fosse possível a aplicação de todos os tratamentos em cada animal.

4.1.1 pH

Previamente ao início das análises, o pH de todas as amostras foi medido em triplicata, utilizando-se um medidor de pH portátil digital que também permitiu a checagem da temperatura das peças.

4.1.2 Índice de Fragmentação Miofibrilar

O Índice de Fragmentação Miofibrilar (IFM) foi determinado em triplicata, de todas as amostras dos cortes cárneos em estudo tendo como base as metodologias de Culler et al. (1978) e Olson; Parrish JR e Stromer (1976), seguindo-se com as etapas a seguir.

Preparo dos reagentes

Tampão IFM: Para preparar dois litros do tampão IFM foram utilizados 14,91 g de Cloreto de Potássio (KCl), 2,72 g de Fosfato de Potássio monobásico (KH_2PO_4), 3,5 g de Fosfato de Potássio dibásico (K_2HPO_4), 0,76 g de Ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA), 0,41 g de Cloreto de Magnésio (MgCl_2) e 0,13 g de Azida de Sódio (NaN_3). Os reagentes foram dissolvidos em água destilada tendo seu pH ajustado para 7,0 com a utilização de uma solução de Hidróxido de Sódio (1 M). Após o preparo, o tampão foi armazenado em frascos de vidro âmbar e refrigerado a 2 °C.

Reagente de Biureto: Para preparar dois litros do Reagente de Biureto foram utilizados 3 g de Sulfato de Cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) e 12 g de Tartarato de Sódio e Potássio tetra hidratado ($\text{C}_4\text{H}_4\text{KNaO}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$). Os reagentes foram dissolvidos em aproximadamente um litro de água destilada e deionizada em um balão volumétrico de dois litros. Em constante agitação foram adicionados 600 mL de uma solução recém preparada de Hidróxido de Sódio (NaOH) a 10 % e posteriormente completado o volume para dois litros. O reagente foi armazenado em frasco de vidro âmbar (protegido da luz) em temperatura ambiente.

Extração das miofibrilas

De cada uma das amostras foram retirados, com auxílio de um bisturi, aproximadamente quatro gramas de tecido muscular, tomando-se o cuidado de desprezar partes contendo tecido conjuntivo e gorduras. Estas porções foram fragmentadas utilizando o bisturi, transferidas para um bécker de 100 mL, adicionados 40 mL de tampão IFM à temperatura de 2 °C e homogeneizados utilizando ultraturrax (Modelo T 25 D, Marca Ika) por 30 segundos.

O volume homogeneizado foi colocado em tubo de centrifuga de polietileno com tampa de rosca e centrifugado em centrifuga refrigerada (Modelo Centra GP 8R, Marca Thermo IEC) a 2400 rpm durante 15 minutos à temperatura de 2 °C. Após a centrifugação o sobrenadante foi descartado e o precipitado suspenso novamente com adicionais 40 mL de tampão IFM (2 °C), com o auxílio de um bastão de vidro. O material foi novamente centrifugado a 2400 rpm, durante 15 minutos a 2 °C. Após a centrifugação o sobrenadante foi descartado e o precipitado mais uma vez suspenso com 10 mL de tampão IFM (2 °C) e agitado com o auxílio de um vórtex. O volume foi então passado quantitativamente por uma peneira de polietileno para remover fragmentos de tecido conjuntivo e pedaços maiores.

Curva padrão de Albumina de soro bovino (BSA)

As concentrações da solução padrão de Albumina de soro bovino (BSA) utilizadas na curva foram de 1, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 mg/mL em tampão IFM (2 °C). Foi tomado 1 mL da solução padrão de BSA, adicionados 4 mL do reagente de Biureto, incubado no escuro a temperatura ambiente por 30 minutos e determinada a absorbância a 540 nm. Como branco para a concentração proteica, foram utilizados 1 mL de tampão IFM e 4 mL de reagente de Biureto.

Determinação do Índice de Fragmentação Miofibrilar:

Foram pipetados 0,25 mL da suspensão de miofibrilas em tubos de ensaio e adicionados 0,75 mL de tampão IFM (2 °C). Posteriormente foram adicionados 4 mL do Reagente de Biureto e agitando em vórtex. Após esta operação os tubos foram incubados por 30 minutos em ambiente escuro, à temperatura ambiente. Após o período de incubação foram realizadas as leituras de absorbância a 540 nm em espectrofotômetro (Modelo Lambda 35, Marca Perkin Elmer). Por meio das leituras foram calculadas as concentrações proteicas das suspensões de miofibrilas em mg/mL utilizando a equação construída com uma curva padrão de BSA.

De cada uma das amostras (suspensão de miofibrilas), foram feitas diluições, em tubos de ensaio, com o tampão IFM, para uma concentração proteica de 0,5 mg/mL, em um volume total de 8 mL. Os tubos foram agitados em vórtex, imediatamente antes da leitura de absorbância em 540 nm. Os valores das leituras de absorbância foram multiplicados por 200, para obtenção do Índice de Fragmentação Miofibrilar.

4.1.3 Comprimento de Sarcômeros

Para a medição do comprimento dos sarcômeros foi utilizada a suspensão de miofibrilas obtida para o índice de fragmentação miofibrilar diluída em tampão IFM (Item 3.4.2). Após a diluição da suspensão de miofibrilas, uma gota foi depositada sobre lâmina para microscopia de 26 x 76 mm e coberta com lamínula de 22 x 22 mm. As Lâminas foram examinadas em microscópio óptico (Modelo DM 1000, Marca Leica) por microscopia de contraste de fase, utilizando objetiva de aumento de 100 x e ocular de 10 x, em óleo de imersão. Foram selecionadas miofibrilas que

apresentaram as estruturas miofibrilares mais nítidas, principalmente a linha Z, e um número mínimo de 10 sarcômeros em sequência.

As miofibrilas foram fotografadas e as imagens capturadas utilizando o *software* de captura de imagens *Leica Application Suite*® versão 1.6.0. As imagens das miofibrilas foram posteriormente analisadas e os comprimentos de no mínimo cinco sarcômeros de cada miofibrila foram medidos utilizando o *software* ImageJ®. Os resultados para cada amostra foram expressos em micrômetros (µm), por meio da média global de todos os sarcômeros de todas as miofibrilas fotografadas. Foram realizadas vinte determinações para cada corte cárneo proveniente de cada animal.

4.1.4 Desnaturação proteica

Para a determinação da desnaturação proteica, foram retiradas alíquotas de amostras cortadas finamente, evitando-se as gorduras visíveis. As análises foram realizadas em um calorímetro diferencial de varredura (Modelo DSC 2010 com módulo controlador TA 5000, Marca TA Instruments), com alíquotas da ordem de 10 mg ($\pm 0,1$ mg) condicionadas em cápsulas de alumínio herméticas. As pesagens foram feitas em balança analítica e como referência foi utilizada uma cápsula vazia. A faixa de temperatura varrida foi de 0 – 100 °C, a 10 °C/minuto, sob fluxo de 45 mL/minuto de N₂ (FURUKAWA et al., 2004). As análises foram realizadas em triplicata para cada corte cárneo e os resultados utilizados foram as temperaturas de desnaturação proteica referentes às proteínas actina e miosina.

4.1.5 Teor de Colágeno

A determinação do teor de colágeno total foi realizada, em triplicata para cada corte cárneo proveniente de cada animal, conforme a metodologia descrita por LMBG (1980), baseado no conteúdo de Hidroxiprolina, de acordo com as etapas a seguir.

Preparo dos reagentes

Solução tampão pH 6,8: Foram dissolvidos 13 g de Ácido cítrico ($C_6H_8O_7$), 7 g de Hidróxido de sódio (NaOH) e 39 g de Acetato de sódio anidro ($C_2H_3NaO_2$) em cerca de 300 mL de água destilada, adicionados 125 mL de Isopropanol (C_3H_8O) e em seguida transferido quantitativamente para balão volumétrico de 500 mL e completado o volume com água destilada. A solução foi acondicionada em frasco de vidro âmbar.

Solução padrão de Hidroxiprolina: Foram dissolvidos 60 mg de L-Hidroxiprolina ($C_5H_9NO_3$) em água destilada, transferido para balão volumétrico de 100 mL e o volume completado com água destilada. Em seguida foram transferidos 5 mL dessa solução para balão de 500 mL e o volume completado com água destilada. A solução foi armazenada em frasco de vidro âmbar ao abrigo da luz e em temperatura ambiente.

Reagente de oxidação: 1,4 g de Cloramina T (NH_2Cl) foram diluídos em 100 mL de solução tampão pH 6,8. A solução foi armazenada em frasco de vidro âmbar ao abrigo da luz e em geladeira a 4 °C.

Reagente de cor: Foram dissolvidos 10 g de 4-Dimetilaminobelzaldeído ($C_9H_{11}NO$) em 35 mL de Ácido perclórico ($HClO_4$) 60 % e em seguida adicionados

65 mL de Isopropanol (C_3H_8O) lentamente. Esse reagente foi sempre preparado no mesmo dia da utilização.

Procedimento analítico

Em uma balança analítica (Modelo BG2000, Marca Gehaka) foram pesados 2 g de amostra em um tubo de ensaio com tampa de rosca, adicionados 5 mL de Ácido sulfúrico 6 N e deixado em estufa a 110 °C por uma hora. Após este período, foram adicionados mais 10 mL de Ácido sulfúrico 6 N, o tubo foi fechado (sem apertar a tampa) e o material digerido em estufa a 110 °C por mais 16 horas.

O hidrolisado foi transferido quantitativamente para balão volumétrico de 200 mL. Foram adicionados 5 mL de Éter de petróleo, misturado e o volume completado com água destilada de modo que a camada de gordura fique acima da marca do balão. A camada de éter com gordura foi eliminada com auxílio de uma pipeta. Em seguida o hidrolisado foi filtrado em papel de filtro Whatman nº 4. O filtrado foi diluído de forma que a concentração de Hidroxiprolina das amostras ficasse entre 0,6 e 2,4 µg/mL. Em seguida foram transferidos 4 mL da diluição obtida para tubos de ensaio, adicionados 2 mL do reagente de oxidação, tampado, misturado em agitador de tubos e deixado em repouso por 20 minutos à temperatura ambiente. Foram adicionados 2 mL do reagente de cor, agitado vigorosamente em vórtex e os tubos levados para banho-maria a 60 °C por 15 minutos. Em seguida foram resfriados em água corrente, deixados em repouso por mais 30 minutos à temperatura ambiente e feitas leituras da absorbância em espectrofotômetro à 558 nm. A prova em branco foi feita utilizando água destilada ao invés da amostra.

Curva padrão de Hidroxiprolina

Para a curva padrão foram pipetados 5, 10, 15 e 20 mL da solução padrão de Hidroxiprolina (6 mg/L) em balões volumétricos de 50 mL e completados com água destilada. As concentrações dessas soluções foram respectivamente: 0,6, 1,2, 1,8 e 2,4 µg/mL. Foram realizadas as reações de oxidação e cor da mesma forma que para as amostras. A curva padrão foi refeita em cada extração.

4.1.6 Cor instrumental

A cor instrumental das amostras de carne *in natura* foi determinada por meio de colorímetro portátil (Modelo 4500L, Marca HunterLab), utilizando iluminante D65 com ângulo de abertura de 10°, por meio do sistema CIELab, com L* luminosidade, variando de 0 (preto) a 100 (branco); a* de verde (-120) a vermelho (+120) e b* de azul (-120) a amarelo (+120). Foram tomadas 6 medidas para cada corte cárneo proveniente de cada animal. Cada uma das medidas foi uma média de medições feitas em 3 diferentes pontos da amostra.

4.1.7 Perda de peso por cocção

Para determinação dos percentuais de Perda de peso por cocção (PPC), bifes de 2,5 cm de espessura foram pesados em bandejas de alumínio previamente taradas, antes (Pi) e após (Pf) a Cocção (Conforme item 4.2.1), utilizando-se uma balança analítica. O cálculo do percentual de Perda de peso por cocção foi realizado utilizando-se a Equação 1.

$$PPC = \left(\frac{P_i - P_f}{P_i} \right) \times 100 \quad (1)$$

4.1.8 Composição química das amostras após cocção

A porção restante dos bifes, não utilizada nos testes de cisalhamento (Item 4.2) e de microestrutura (Item 4.3), foi misturada por cada tratamento, homogeneizada em multiprocessador (Modelo Mega Master Plus, Marca Walita), constituindo assim uma única amostra homogênea de cada tratamento. As amostras foram mantidas sob congelamento até o momento de realização das análises da composição centesimal.

Alíquotas dessas amostras foram retiradas e realizadas determinações de umidade e conteúdo de proteínas, lipídeos e cinzas conforme metodologias descritas pela AOAC (2011), todas em triplicata.

4.2 Determinação da força de cisalhamento

Foram estudados os efeitos da temperatura final de Cocção e do tempo de resfriamento da carne e a utilização de diferentes equipamentos/lâminas de cisalhamento na força de cisalhamento de cinco cortes cárneos, tendo como base o método Warner-Bratzler proposto pela *American Meat Science Association* (AMSA, 2015).

4.2.1 Preparo das amostras

As peças dos cortes cárneos foram cortadas, sempre no sentido perpendicular às fibras, em bifes de 2,5 cm de espessura, que foram colocados individualmente em bandejas de alumínio devidamente identificadas e com grade na

parte superior para permitir a drenagem do exsudato (Figura 2 a). Posteriormente, os bifes foram assados em forno elétrico (Marca Flexa de Ouro, São Paulo, Brasil) fechado à temperatura de 170 °C. A temperatura interna dos bifes foi individualmente acompanhada com o auxílio de termopares (Figura 2 b). Quando os bifes atingiram a temperatura intermediária (Tabela 1), eles foram virados e mantidos no forno até atingirem a temperatura final de cocção. Após a retirada do forno, os bifes foram pré-resfriados em temperatura ambiente (Figura 2 c) e em seguida envolvidos em filmes plásticos e resfriados em estufa B.O.D. a 4 °C (Figura 2 d) utilizando os dois diferentes tempos de resfriamento propostos. Foram realizados 6 tratamentos para cada corte cárneo em estudo, sendo três diferentes temperaturas de cocção e dois tempos de resfriamento das amostras.

Tabela 1 – Tratamentos realizados na etapa de preparo das amostras.

Tratamento	Temperatura de cocção (°C)		Tempo de resfriamento (h)
	Intermediária	Final	
A	40	65	4
B	45	70	4
C	50	75	4
D	40	65	24
E	45	70	24
F	50	75	24

Fonte: Própria autoria.

Foram utilizados seis bifes de cada corte cárneo, sendo destinados dois para cada temperatura e desses dois, cada um foi resfriado em um dos tempos de resfriamento propostos. De cada bife assado e resfriado foram retiradas sub-amostras cilíndricas com o auxílio de um perfurador metálico cilíndrico com 1,27 cm de diâmetro interno, no sentido paralelo às fibras da carne (Figura 2 e). Foram retiradas 6 sub-amostras cilíndricas de cada bife para os testes de determinação da

força de cisalhamento (Figura 2 f). O restante dos bifes assados, ou seja, a parte não utilizada nos testes de cisalhamento foi reservado para análises de determinação da composição química (Descrito em 4.1.8).

Figura 2 – Etapas do preparo das amostras para os testes de determinação da força de cisalhamento

a) Bife de 2,5 cm de espessura colocado individualmente em bandeja de alumínio com grade na parte superior; b) Bifes sendo assados em forno elétrico e temperatura interna acompanhada com o auxílio de termopares; c) Bife devidamente assado sendo pré-resfriado em temperatura ambiente; d) Bifes envolvidos em filmes plásticos sendo resfriados a 4 °C em estufa B.O.D.; e) Sub-amostras cilíndricas sendo retiradas com o auxílio de um perfurador metálico; f) Seis sub-amostras retiradas de um bife devidamente assado e resfriado, prontas para os testes de determinação da força de cisalhamento. Fonte: Própria autoria.

4.2.2 Testes de determinação da força de cisalhamento

As seis sub-amostras extraídas de cada bife foram divididas em três porções iguais e destinadas para a determinação da força de cisalhamento utilizando três diferentes equipamentos/lâminas de cisalhamento, sendo eles: o equipamento

Warner-Bratzler clássico e um Texturômetro automatizado equipado com duas lâminas de espessuras diferentes.

Determinação da força de cisalhamento utilizando um equipamento Warner-Bratzler clássico

A porção das sub-amostras destinada para este equipamento foi submetida a testes de determinação da força de cisalhamento utilizando-se um equipamento Warner-Bratzler clássico (Marca Salter Brecknell, Modelo 235 6x,) (Figura 3). A célula de trabalho deste equipamento é uma lâmina de aço inoxidável com 1,18 mm de espessura e 126,77 mm de altura, com uma abertura de corte de formato triangular com 60° de abertura, pesando 37,4287 g (Figura 4).

Figura 3 – Equipamento Warner-Bratzler clássico utilizado nos testes de cisalhamento.

Fonte: Própria autoria.

Figura 4 – Lâmina do equipamento Warner-Bratzler clássico utilizada nos testes de cisalhamento.

Fonte: ARANTES-PEREIRA, L. et al. Reproducibility and correlation between meat shear force measurements by Warner-Bratzler machine and a texturometer. **International Journal of Food Studies**, v. 5, n. 2, p. 193-202.

As amostras foram colocadas na abertura da célula de trabalho, sendo cisalhadas pela célula movendo-se com velocidade fixada pelo fabricante, no sentido ascendente. Quando a amostra era cisalhada, o ponteiro do equipamento parava, indicando a força de cisalhamento no painel graduado, expressa em kgf.

Determinação da força de cisalhamento utilizando um Texturômetro com duas lâminas de espessuras diferentes

As outras duas porções de sub-amostras foram submetidas a testes de cisalhamento utilizando um Texturômetro automatizado (Marca *Stable Micro Systems*, Modelo *TAXT2icon*) (Figura 5), equipado com duas diferentes lâminas

Warner-Bratzler em “V”, ambas fabricadas em aço inoxidável e com ângulos de corte com abertura de 60°, com as seguintes dimensões:

- Lâmina com espessura de 1,01 mm, comprimento, largura e peso de 64,94 mm, 44,90 mm e 17,0906 g, respectivamente, denominada neste trabalho como TAXT1 (Figura 6).

- Lâmina com espessura de 3,07mm, comprimento, largura e peso de 100,12 mm, 69,97 mm e 142,2018 g, respectivamente, denominada neste trabalho como TAXT3 (Figura 7).

Figura 5 – Texturômetro automatizado utilizado nos testes de cisalhamento.

Fonte: Própria autoria.

Figura 6 – Lâmina Warner-Bratzler de 1 mm (TAXT1) utilizada nos testes de cisalhamento.

Fonte: ARANTES-PEREIRA, L. et al. Reproducibility and correlation between meat shear force measurements by Warner-Bratzler machine and a texturometer. **International Journal of Food Studies**, v. 5, n. 2, p. 193-202.

Figura 7 – Lâmina Warner-Bratzler de 3 mm (TAXT3) utilizada nos testes de cisalhamento.

Fonte: ARANTES-PEREIRA, L. et al. Reproducibility and correlation between meat shear force measurements by Warner-Bratzler machine and a texturometer. **International Journal of Food Studies**, v. 5, n. 2, p. 193-202.

As amostras foram cisalhadas pelas lâminas movendo-se a 200 mm/minuto, na direção descendente. O *software* do equipamento (*Texture Expert V. 4.013.0, Stable Micro Systems*) permitiu a leitura da força em tempo real, gerando uma curva mecânica de tensão contra tempo ou distância percorrida. Assim, a força de cisalhamento foi determinada diretamente dessas curvas, como a força máxima exercida durante o teste. As curvas geradas durante estes testes também foram utilizadas para observar o efeito das diferentes tratamentos no comportamento mecânico dos cortes cárneos durante os testes de determinação da força de cisalhamento, conforme Arantes-Pereira; Vargas; Sobral (2016).

4.3 Microestrutura das superfícies cisalhadas das amostras

Após os testes de cisalhamento, cinco metades das amostras de cada tratamento foram escolhidas ao acaso, para estudo da microestrutura das superfícies cisalhadas. Estas amostras foram congeladas em *freezer*, liofilizadas em liofilizador de bancada (modelo FD 1,0-60, Marca Heto) e mantidas em dessecador contendo sílica gel, para posterior análise. As amostras foram analisadas utilizando um microscópio eletrônico de varredura (Marca Hitachi, Modelo TM-3000) com feixe a 15 kV. O equipamento além de operar em baixo vácuo, utiliza a tecnologia de pressão variável como modo redução de carga (*charge-up reduction mode*), assim o gás residual dentro da câmara minimiza as cargas superficiais de amostras não condutoras, o que por sua vez, permitiu analisar as amostras de carne sem a necessidade de recobrimento metálico. As imagens foram obtidas e tratadas utilizando o *software* que acompanha o equipamento (Hitachi 3000®).

Esta análise foi realizada visando observar o efeito dos diferentes tratamentos no comportamento estrutural dos cortes cárneos durante os testes de determinação da força de cisalhamento, utilizando a abordagem descrita por Arantes-Pereira; Vargas; Sobral (2016).

4.4 Correlações entre os resultados dos testes de determinação da força de cisalhamento e alguns parâmetros de qualidade de carne

Foram estudadas correlações existentes entre os resultados dos testes de determinação da força de cisalhamento e os principais atributos de qualidade de carnes, visando verificar o efeito da utilização das diferentes condições de análise avaliadas, nessas correlações.

Os parâmetros testados nas correlações com as forças de cisalhamento foram: Índice de Fragmentação Miofibrilar (Item 4.1.2), Comprimento de sarcômeros (Item 4.1.3), Desnaturação proteica (Item 4.1.4), Teor de colágeno (Item 4.1.5), Cor instrumental (Item 4.1.6), Percentual de perda de peso por cocção (Item 4.1.7), Umidade, conteúdo proteico e conteúdo lipídico (Item 4.1.8).

4.5 Análises estatísticas

4.5.1 Caracterização dos cortes

Para a caracterização dos cortes cárneos em estudo, o experimento foi instalado conforme um Delineamento em Blocos Casualizados (DBC), onde cada animal utilizado para a coleta das amostras se comportou como um bloco e, portanto, todos os tratamentos foram igualmente testados em cada bloco.

Para comparação dos resultados da caracterização físico-química e bioquímica dos cortes *in natura* foi realizada Análise de Variância (ANOVA) e quando observadas diferenças significativas, foi utilizado como procedimento de comparações múltiplas o teste de *Tukey*.

Para os resultados de Perdas de peso por cocção e Composição química dos cortes após cocção foi realizada Análise de Variância (ANOVA) visando avaliar os efeitos das diferentes temperaturas testadas. Nestes casos, a análise foi realizada em esquema fatorial (5 x 3), sendo 5 cortes cárneos e 3 temperaturas finais de cocção. Como procedimento de comparações múltiplas foi utilizado o teste de *Tukey*. As análises foram realizadas utilizando o *software Statistical Analysis System*, versão 9.2 (SAS INSTITUTE, 2004).

4.5.2 Força de cisalhamento

Para estudo dos efeitos das modificações na temperatura final de cocção e tempo de resfriamento bem como da utilização dos diferentes equipamentos/lâminas de cisalhamento e cortes cárneos avaliados, este experimento foi instalado conforme um Delineamento em Blocos Casualizados (DBC), onde cada animal utilizado para a coleta das amostras se comportou como um bloco e, portanto, todos os tratamentos foram igualmente testados em cada bloco.

Foram realizadas análises estatísticas descritivas para os resultados dos testes de determinação da força de cisalhamento visando estudar a eficiência de cada uma das técnicas avaliadas, em relação à variabilidade dos resultados.

Para estudo dos efeitos de todos os tratamentos avaliados, nos resultados de força de cisalhamento, foi realizada Análise de Variância (ANOVA) em esquema

fatorial (5 x 3 x 2 x 3), sendo 5 cortes cárneos, 3 temperaturas finais de cocção, 2 tempos de resfriamento e 3 equipamentos/lâminas de cisalhamento. Como procedimento de comparações múltiplas, foi utilizado o teste de *Tukey*. As análises foram realizadas utilizando o *software Statistical Analysis System*, versão 9.2 (SAS INSTITUTE, 2004).

4.5.3 Correlações

Foi utilizada a correlação de *Pearson* para testar as relações lineares existentes entre os parâmetros de qualidade determinados durante a caracterização físico-química e bioquímica dos cortes, entre a força de cisalhamento obtida utilizando todos os tratamentos avaliados e os parâmetros de qualidade determinados durante a caracterização físico-química e bioquímica dos cortes e também foram testadas as correlações entre os próprios tratamentos.

Para os casos em que foram obtidos coeficientes de correlação de *Pearson* superiores a 0,80 foram realizadas análises de regressão linear visando construir modelos matemáticos de correlação entre os respectivos parâmetros. As análises foram realizadas utilizando o *software Statistical Analysis System*, versão 9.2 (SAS INSTITUTE, 2004).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização físico-química e bioquímica dos cortes cárneos *in natura* e após Cocção utilizando diferentes temperaturas finais de cocção

Observou-se que de todas as variáveis avaliadas, apenas no pH não foi observado efeito significativo ($p > 0,05$) dos cortes nos resultados (Tabela 2). Em todos os outros parâmetros, houve diferença significativa entre os resultados de acordo com os diferentes cortes cárneos avaliados.

Tabela 2 – Resumo da análise de variância dos parâmetros de caracterização físico-química e bioquímica dos cortes

Variável	GL ¹	Pr > F
pH	4	0,1957 ^{NS}
IFM	4	<0,0001 ^{**}
Actina	4	0,047 [*]
Miosina	4	<0,0001 ^{**}
Cor L [*]	4	<0,0001 ^{**}
Cor a [*]	4	<0,0001 ^{**}
Cor b [*]	4	<0,0001 ^{**}
Colágeno	4	<0,0001 ^{**}
Comprimento de sarcômeros	4	<0,0001 ^{**}

¹Graus de liberdade; ^{*} Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{**} Significativo ao nível de 1% de probabilidade; ^{NS} Não significativo. Fonte: Própria autoria.

Os valores de pH ficaram entre 5,7 e 5,8 (Tabela 3). Esses resultados demonstraram que os animais foram abatidos em condições ideais de manejo e bem estar, que por sua vez contribuem para a manutenção das reservas de glicogênio muscular e consequente queda do pH até valores próximos a 5,5 após o processo de glicólise *post mortem* (LAWRIE, 2006).

Tabela 3 – Caracterização físico-química e bioquímica de cinco cortes cárneos bovinos *in natura*.

Corte cárneo	pH	IFM ¹	Desnaturação proteica (°C)		Cor instrumental			Colágeno total (mg/g)	Comprimento de Sarcômeros (μm)
			Actina	Miosina	L*	a*	b*		
Contrafilé	5,7	76,8 ^a	76,0 ^a	57,9 ^b	35,9 ^b	20,8 ^{bc}	15,3 ^c	2,9 ^b	2,1 ^b
Lagarto	5,7	83,0 ^a	75,7 ^a	57,7 ^b	42,8 ^a	22,2 ^a	19,0 ^a	3,6 ^a	2,0 ^b
File Mignon	5,7	46,2 ^c	76,3 ^a	57,5 ^b	35,7 ^b	20,3 ^c	15,1 ^{cd}	1,9 ^c	3,0 ^a
Picanha	5,7	61,0 ^b	77,9 ^a	59,9 ^a	36,0 ^b	18,8 ^d	14,2 ^d	3,1 ^{ab}	1,6 ^c
Coxão Duro	5,8	72,8 ^{ab}	77,9 ^a	58,3 ^b	37,4 ^b	21,8 ^{ab}	16,4 ^b	2,9 ^b	1,9 ^b

Letras diferentes em uma mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey. ¹ IFM = Índice de Fragmentação Miofibrilar. Fonte: Própria autoria.

Os maiores valores ($p < 0,05$) do Índice de Fragmentação Miofibrilar (IFM) foram observados nos cortes Contrafilé e Lagarto, enquanto que o menor índice ocorreu no Filé mignon. Considerando que o IFM corresponde à medida da integridade estrutural das fibras musculares, e que quanto maior o índice mais “enfraquecidas” estão as fibras, pode-se dizer portanto, que no momento destas análises o corte Filé mignon foi o que estava com a maior integridade estrutural, ou seja, havia ocorrido pouca proteólise nas fibras musculares deste corte. Shin et al. (2008) trabalhando com *Longissimus dorsi* bovino observaram Índice de Fragmentação Miofibrilar de 74,5, valor bem próximo ao encontrado para o mesmo músculo na presente tese que foi de 76,8.

As temperaturas de desnaturação das proteínas Actina e Miosina foram obtidas por meio das curvas de calorimetria diferencial de varredura dos cortes em estudo (Figura 8). Observou-se que, conforme esperado, todas as curvas foram compostas por três picos, sendo o primeiro associado à desnaturação da Miosina e o terceiro à desnaturação da Actina (TORNBERG, 2005). Não foi observado nenhum fenômeno anormal ao esperado para curvas típicas de calorimetria diferencial de varredura de carnes.

Não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,05$) entre as temperaturas de desnaturação da Actina (Tabela 3) que variaram entre 76 e 78 °C. Por outro lado, a temperatura de desnaturação da Miosina do corte Picanha foi de 59,9 °C, valor significativamente maior ($p < 0,05$) que a dos demais cortes, que permaneceram em torno de 58 °C. Este resultado pode explicar o fato já empiricamente observado, de que o corte Picanha requer maior temperatura ou tempo para atingir um determinado ponto de cocção quando comparado com outros

cortes, ou em outras palavras, apresenta mais aspecto de “cru” mesmo atingindo uma temperatura suficiente para cozinhar completamente outros cortes.

Figura 8 – Exemplos de curvas de calorimetria diferencial de varredura obtidas para os cortes cárneos em estudo.

Fonte: Própria autoria.

Esta observação vai de encontro àquela já pontuada por Wheeler, Shackelford e Koohmaraie (1996), de que os efeitos de um tratamento térmico específico podem ser diferentes se aplicado em diferentes músculos. Sendo assim, pode-se afirmar que a padronização do ponto de cocção de carnes por meio de uma única temperatura em algumas situações é errônea e no caso de métodos analíticos,

como por exemplo na determinação da força de cisalhamento, pode ser uma fonte de variação ou erro.

As temperaturas de desnaturação das proteínas Actina e Miosina encontradas na presente tese estão de acordo com aquelas descritas por Tornberg (2005) em sua revisão sobre os efeitos da cocção nas proteínas da carne. De acordo com este autor, genericamente a desnaturação da Miosina ocorre entre 54 e 58 °C enquanto a desnaturação da Actina se dá entre 80 e 83 °C.

Na avaliação instrumental da cor, o corte Lagarto obteve valor de L^* significativamente maior ($p < 0,05$) que os demais (42,8). Todos os outros cortes obtiveram valores estatisticamente semelhantes (≈ 36), demonstrando grande semelhança em termos de luminosidade das carnes. Nas coordenadas de cor a^* e b^* , os resultados se comportaram de forma semelhante pois os maiores valores ($p < 0,05$) foram obtidos no lagarto. Já os menores valores foram observados no corte picanha (Tabela 3). Estes resultados indicaram que o Lagarto possui coloração mais clara e com maior intensidade de vermelho.

Os teores de colágeno total dos cortes estudados variaram entre 1,9 e 3,6 mg/g (Tabela 3), onde o menor valor ($p < 0,05$) foi observado no Filé mignon e o maior, no Lagarto. Estes resultados foram similares aos determinados por Rhee et al. (2004), que determinaram 2,7 mg/g no Filé mignon, 4,5 mg/g no Contrafilé, 8,7 mg/g na Picanha e 8,8 mg/g no Lagarto.

No presente estudo, o menor ($p < 0,05$) comprimento de sarcômero foi observado no corte Picanha (1,6 μm) (Tabela 3), enquanto que o maior ocorreu no Filé mignon (3,0 μm). Não foram observadas diferenças significativas entre os comprimentos dos sarcômeros dos cortes Contrafilé, Lagarto e Coxão duro ($\approx 2 \mu\text{m}$).

Similarmente ao ocorrido com os teores de colágeno, os resultados dos comprimentos de sarcômero estiveram de acordo aos encontrados por Rhee et al. (2004), que observaram 1,8 μm para os cortes Contrafilé e Picanha, 2,1 μm para o corte Lagarto e 2,9 μm para o Filé mignon.

Por mais que teoricamente haja forte correlação entre o comprimento de sarcômeros e a maciez, também já foi demonstrado que o efeito do comprimento do sarcômero na maciez da carne é dependente da causa do encurtamento muscular (HWANG et al., 2004), o que contribui para explicar, por exemplo, o fato de o corte Picanha ser empiricamente conhecido pela sua considerável maciez sensorial e ao mesmo tempo possuir sarcômeros mais curtos (Tabela 3). Uma das prováveis hipóteses para este comportamento é o fato de o corte Picanha requerer maior temperatura para desnaturação das moléculas de Actina (Tabela 3), o que faz com que este corte demore mais para sofrer desnaturação e conseqüentemente perder maciez quando comparado com outros cortes.

O resumo da análise de variância dos resultados da composição química dos cinco cortes cárneos bovinos (Contrafilé, Lagarto, Filé mignon, Picanha e Coxão duro), submetidos a três diferentes temperaturas finais de cocção (65, 70 e 75 °C) está apresentado na Tabela 4.

Foram observadas interações significativas ($p < 0,05$) entre os efeitos de Corte cárneo e Temperatura final de cocção para as variáveis umidade e proteínas. Desta forma pode-se afirmar que as quantidades destes componentes nos cortes cárneos em estudo são dependentes da temperatura final de cocção utilizada, ou seja, estes fatores atuam de forma dependente. Foi observado ainda, efeito significativo do corte cárneo nos teores de lipídeos.

Tabela 4 – Resumo da análise de variância da composição química de cinco cortes cárneos bovinos submetidos a diferentes temperaturas finais de cocção.

Efeito	GL ¹	Pr > F
Umidade		
Corte cárneo (C)	4	<0,0001**
Temperatura final de cocção (T)	2	<0,0001**
C x T	8	0,0002**
Cinzas		
Corte cárneo (C)	4	0,1950 ^{NS}
Temperatura final de cocção (T)	2	0,1635 ^{NS}
C x T	8	0,1990 ^{NS}
Proteínas		
Corte cárneo (C)	4	<0,0001**
Temperatura final de cocção (T)	2	0,0066**
C x T	8	0,0033**
Lipídeos		
Corte cárneo (C)	4	<0,0001**
Temperatura final de cocção (T)	2	0,0516 ^{NS}
C x T	8	0,5066 ^{NS}

¹Graus de liberdade; * Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade; ^{NS} Não significativo. Fonte: Própria autoria.

O desdobramento dos efeitos das diferentes temperaturas finais de cocção na composição química de cinco cortes bovinos em estudo está apresentado na Tabela 5. Uma vez que foram observadas interações significativas ($p < 0,05$) entre os efeitos de corte cárneo e temperatura final de cocção apenas nas variáveis umidade e proteínas (Tabela 4), somente estas variáveis foram desdobradas considerando os dois fatores.

Tabela 5 – Desdobramento da composição química (g/100 g em base úmida) de cinco cortes bovinos submetidos a diferentes temperaturas finais de cocção.

Corte carne	Umidade			Cinzas	Proteínas			Lipídeos
	65 °C	70 °C	75 °C		65 °C	70 °C	75 °C	
Contrafilé	65,4 ^{a,A}	63,5 ^{ab,A}	61,7 ^{b,A}	1,4	27,8 ^{b,B}	30,2 ^{ab,B}	31,8 ^{a,A}	6,8 ^B
Lagarto	62,7 ^{a,AB}	59,5 ^{b,B}	62,0 ^{ab,A}	1,3	33,0 ^A	34,9 ^A	32,1 ^A	5,5 ^B
File Mignon	63,3 ^{AB}	62,0 ^{AB}	61,8 ^A	1,5	29,5 ^{ab,B}	31,2 ^{a,B}	27,6 ^{b,B}	9,6 ^A
Picanha	64,8 ^{a,A}	60,0 ^{b,B}	57,0 ^{c,B}	1,5	26,7 ^{b,B}	29,5 ^{ab,B}	30,8 ^{a,AB}	11,0 ^A
Coxão Duro	61,7 ^B	59,9 ^B	60,0 ^A	1,3	28,4 ^B	28,4 ^B	29,5 ^{AB}	10,2 ^A

Letras minúsculas diferentes em uma mesma linha diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); Letras maiúsculas diferentes em uma mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey. Fonte: Própria autoria.

A umidade dos cortes Contrafilé e Picanha diminuiu significativamente ($p < 0,05$) com o aumento da temperatura (Tabela 5). Já nos cortes Filé mignon e Coxão duro, o aumento da temperatura final de cocção não ocasionou variações significativas na umidade, o que pode indicar uma maior capacidade de retenção de água destes cortes.

O aumento da temperatura causou maior redução na umidade do corte Picanha do que nos demais cortes. Para este corte, houve perda de quase 8 % de umidade com o aumento da temperatura final de cocção de 65 para 75 °C, enquanto que para os demais cortes, as perdas de umidade variaram de 0,7 a 3,7 %. Com base nestes resultados pode-se afirmar que o corte Picanha foi o mais sensível quanto à perda de umidade com o aumento da temperatura final de cocção dentre os avaliados nesta tese, ou seja, possui menor capacidade de retenção de água.

Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre os teores de cinzas dos cinco cortes cárneos nem tampouco com o aumento da temperatura final de cocção. Os valores ficaram todos próximos a 1,4 g/100 g.

Conforme já esperado, o conteúdo proteico dos cortes Contrafilé e Picanha aumentou significativamente ($p < 0,05$) com o aumento da temperatura, comportamento inverso ao ocorrido nos resultados de umidade. Nos cortes Lagarto e Coxão duro, o aumento da temperatura final de cocção não ocasionou variações significativas na conteúdo proteico.

No conteúdo de lipídeos foi observado efeito significativo ($p < 0,05$) apenas dos cortes cárneos, sendo que os cortes Contrafilé e Lagarto obtiveram os menores valores e os demais cortes obtiveram os maiores.

Arantes-Pereira et al. (2016) determinaram a composição química de alguns cortes cárneos após cocção em temperatura final de 70 °C. Os autores observaram

valores de umidade inferiores aos encontrados nesta tese para os cortes Contrafilé, Filé mignon e Picanha (57,8, 58,4 e 51 g/100 g, respectivamente) e valor superior para o Lagarto (61,8 g/100 g). Nos resultados de teor proteico dos cortes, aqueles autores observaram valores inferiores aos desta tese para os cortes Contrafilé, Lagarto e Picanha (28,2, 27,3 e 24,7 g/100 g, respectivamente) e valor superior para o Filé mignon (33,2 g/100 g). No conteúdo lipídico aqueles autores obtiveram valores inferiores apenas no Filé mignon (3,6 g/100 g), pois nos cortes Contrafilé, Lagarto e Picanha os valores observados foram 9, 6 e 19,1 g/100 g, respectivamente. Os teores de cinzas observados por aqueles autores foram iguais para os quatro cortes cárneos (1,4 g/100 g) e bem próximos aos obtidos nesta tese. No referido trabalho não foi estudado o corte Coxão duro.

Pesquisas comparando a composição química de diferentes cortes cárneos após cocção em diferentes temperaturas são escassas e por isso não foi possível comparar os resultados obtidos nesta tese com outros da literatura. O resumo da análise de variância dos resultados de perdas de peso por cocção (PPC) dos cortes cárneos bovinos Contrafilé, Lagarto, Filé mignon, Picanha e Coxão duro, submetidos às temperaturas finais de cocção de 65, 70 e 75 °C está apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Resumo da análise de variância das perdas de peso por cocção de cinco cortes cárneos bovinos submetidos a diferentes temperaturas finais de cocção.

Efeito	GL ¹	Pr > F
Corte cárneo (C)	4	<0,0001**
Temperatura final de cocção (T)	2	<0,0001**
C x T	8	0,0072**

¹Graus de liberdade; ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade; Fonte: Própria autoria.

Observou-se que houve interação significativa ($p < 0,01$) entre os efeitos de corte cárneo e temperatura final de cocção nos percentuais de perdas de peso por cocção. Sendo assim, pode-se afirmar que estes efeitos atuam de forma dependente, ou seja, as temperatura de cocção testadas produzem diferentes percentuais de PPC de acordo com o corte cárneo avaliado.

Com exceção do Filé mignon em que não houve diferença entre os percentuais de perdas de peso por cocção de acordo com as temperaturas avaliadas, em todos os demais cortes a temperatura de 65 °C ocasionou as menores perdas e a de 75 °C as maiores ($p < 0,01$) (Tabela 7).

Nos cortes Contrafilé e Lagarto, as perdas de peso ocorridas na temperatura de 70 °C foram estatisticamente semelhantes àquelas ocorridas nas demais temperaturas ($p > 0,01$). Já nos cortes Picanha e Coxão duro, a temperatura de 70 °C ocasionou perdas de peso semelhantes apenas àquelas provocadas pela temperatura de 65 °C e estas foram significativamente menores que as ocorridas na temperatura de 75 °C.

Tabela 7 – Desdobramento dos percentuais (%) de perdas de peso por cocção de cinco cortes bovinos submetidos a diferentes temperaturas finais de cocção.

Corte	Temperatura final de cocção		
	65 °C	70 °C	75 °C
Contrafilé	22,2 ^{b,B}	28,8 ^{ab,AB}	33,8 ^{a,A}
Lagarto	29,4 ^{b,A}	35,7 ^{ab,A}	36,9 ^{a,A}
Filé mignon	27,0 ^{AB}	27,3 ^B	26,5 ^B
Picanha	25,1 ^{b,AB}	31,6 ^{b,AB}	40,8 ^{a,A}
Coxão Duro	26,8 ^{b,AB}	29,3 ^{b,AB}	36,5 ^{a,A}

Letras minúsculas diferentes em uma mesma linha diferem entre si ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,05$) pelo teste de *Tukey*; Letras maiúsculas diferentes em uma mesma coluna diferem entre si ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,05$) pelo teste de *Tukey*. Fonte: Própria autoria.

Os percentuais de perdas de peso por cocção corroboraram com os resultados de umidade dos cortes (Tabela 5). Nos cortes Contrafilé e Picanha houve diminuição significativa da umidade e consequente aumento nas PPC, sendo que no caso do corte Picanha a temperatura de 75 °C causou mudanças mais drásticas nos referidos parâmetros. No Coxão duro foi observado efeito significativo da temperatura nas PPC porém não houve na umidade. Neste caso o conteúdo perdido com o aumento da temperatura pode ter sido de outros componentes e não água. Já no corte Filé mignon não foi observado efeito significativo da temperatura na umidade e nem nos percentuais de PPC.

É sabido que a perda de peso por cocção é inversamente proporcional à capacidade de retenção de água (CRA) da carne, e que a CRA por sua vez representa a capacidade da carne em reter sua água durante a aplicação de forças extremas como pressão, corte e aquecimento (LAWRIE, 2006). Desta forma, pode-se considerar que a capacidade de retenção de água dos cortes cárneos avaliados no presente trabalho é dependente da temperatura utilizada. Quando utilizada a temperatura final de cocção de 65 °C o menor percentual de PPC foi obtido no Contrafilé e o maior no Lagarto ($p < 0,01$). Na temperatura de 70 °C o menor percentual foi observado no Filé mignon e o maior ainda no Lagarto. Já na temperatura mais alta (75 °C) o Lagarto continuou sendo o corte com maior percentual de PPC e todos os demais cortes obtiveram percentuais estatisticamente menores.

Yancey, Wharton e Apple (2011) avaliaram o efeito da cocção utilizando temperaturas finais de 65,5, 71,1 e 76,6 °C em alguns atributos de qualidade do músculo *Longissimus*. Os autores não observaram diferença significativa ($p > 0,05$) para as perdas de peso por cocção nas temperaturas de 65,5 e 71,1 °C que foram

de 31,3 e 33,5 %, respectivamente, e estatisticamente menores que o percentual obtido na temperatura de 76,6 °C (39,9 %). Os valores observados por aqueles autores foram superiores aos obtidos nesta tese.

Avaliando o efeito do uso de diferentes temperaturas finais de cocção (40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 e 80°C) nas PPC dos músculos *Longissimus*, *Biceps femoris* e *Deep pectoralis*, Obuz et al. (2004) observaram que conforme esperado as perdas aumentaram à medida em que foi aumentada a temperatura e que estas perdas foram mais pronunciadas nas temperaturas acima de 60 °C. Na referida pesquisa foram observadas diferenças significativas entre as PPC obtidas com as temperaturas utilizadas na presente tese (65, 70 e 75 °C) para os músculos *Biceps femoris* (Picanha) e *Longissimus* (Contrafilé). Os autores observaram ainda que em todas as temperaturas avaliadas, as perdas foram maiores no músculo *Biceps femoris* do que no *Longissimus*.

Prado e Felício (2010), avaliando os efeitos da taxa de resfriamento e uso de diferentes sistemas de resfriamento nas diferentes formas de perda de peso de carcaças bovinas, observaram perdas de peso variando entre 20,6 a 24 % quando cozinham amostras de contrafilé a 71 °C.

5.2 Força de cisalhamento dos cortes cárneos submetidos a três temperaturas finais de cocção, dois tempos de resfriamento e utilizando três equipamentos/lâminas.

Os efeitos principais Corte cárneo, Equipamento e Temperatura final de cocção foram altamente significativos ($p < 0,001$) na análise de variância (Tabela 8). Também foram observadas interações duplas significativas entre Corte cárneo e Equipamento ($p < 0,05$) e entre Corte cárneo e Temperatura final de cocção ($p < 0,01$).

Estes resultados demonstraram que a utilização de diferentes equipamentos/lâminas de cisalhamento e temperaturas finais de cocção pode provocar efeitos significativos nos resultados do teste de determinação da maciez pela força de cisalhamento dos cortes cárneos em estudo, ou seja, em determinadas situações os resultados foram dependentes das condições analíticas utilizadas.

Tabela 8 – Resumo da análise de variância das forças de cisalhamento de cinco cortes cárneos bovinos submetidos a diferentes temperaturas finais de cocção e tempos de resfriamento obtidas utilizando diferentes equipamentos.

Efeito	GL ¹	Pr > F
Corte cárneo (C)	4	<0,0001**
Equipamento (E)	2	<0,0001**
Temperatura final de cocção (T)	2	<0,0001**
Tempo de Resfriamento (R)	1	0,9929 ^{NS}
C x E	8	0,0126*
C x T	8	0,0097**
C x R	4	0,9305 ^{NS}
E x T	4	0,9122 ^{NS}
E x R	2	0,1246 ^{NS}
T x R	2	0,0870 ^{NS}
C x E x T	16	0,9998 ^{NS}
E x T x R	4	0,8249 ^{NS}
C x E x T x R	32	0,9409 ^{NS}

¹Graus de liberdade; * Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade; ^{NS} Não significativo. Fonte: Própria autoria.

O protocolo padrão para o teste de determinação da maciez de carnes pelo método Warner-Bratzler publicado pela *American Meat Science Association* (AMSA, 2015), permite a utilização do equipamento Warner-Bratzler clássico ou algum outro equipamento automatizado que seja compatível com uma lâmina nos padrões

Warner-Bratzler, que por sua vez deve ser de 1 mm de espessura, porém é possível encontrar equipamentos com lâmina de 3 mm de espessura. Um dos motivos para a interação significativa entre Corte cárneo e Equipamento observada, pode ter sido a utilização da lâmina de 3 mm, que como já observado em outras pesquisas provoca variações significativas nos resultados (ARANTES-PEREIRA et al., 2016; PINTO; PONSANO; ALMEIDA, 2010).

Outra recomendação da AMSA é que as amostras passem por processo de cocção até atingirem uma temperatura interna final de 71 °C quando utilizado forno como método de cocção. Sendo assim, os resultados apresentados na Tabela 8 sugerem que esta recomendação pode não ser ideal para todos os cortes cárneos estudados neste trabalho, uma vez que houve interação significativa ($p < 0,01$) entre Corte cárneo e Temperatura final de cocção. Este resultado corrobora com aqueles apresentados na Tabela 3, pois foi observada diferença na temperatura de desnaturação da Actina de um dos cortes cárneos em relação aos demais.

Não foi observado efeito significativo do fator Tempo de resfriamento, o que por sua vez sugere que a utilização de qualquer tempo de resfriamento entre 4 e 24 h não afeta significativamente os resultados de testes de determinação da força de cisalhamento por meio do método Warner-Bratzler utilizando os equipamentos e temperaturas de cocção nos cortes cárneos em estudo.

A variação dos resultados das forças de cisalhamento obtidas com os diferentes tratamentos avaliados é de particular importância neste estudo, pois, considerando que todos os tratamentos foram igualmente repetidos em cada animal, pode-se considerar que grande parte da variação nos resultados foi proveniente do efeito dos tratamentos.

Dentre os parâmetros avaliados em análises estatísticas descritivas, o Coeficiente de Variação (C.V.) é um dos mais úteis quando se deseja estudar e comparar a variabilidade de resultados obtidos de diferentes tratamentos, métodos analíticos, localidades, dentre outros. Por ser expresso em porcentagem, o C.V. é facilmente comparável e seu valor expressa a precisão de um determinado experimento ou método analítico para a determinação dos resultados em questão.

No caso de análises de determinação da força de cisalhamento de carnes utilizando diferentes métodos e/ou equipamentos, a obtenção de baixos coeficientes de variação expressam que as condições analíticas utilizadas produzem resultados mais precisos do que aquelas que resultam em altos coeficientes. Sendo assim, análises estatísticas descritivas foram realizadas neste trabalho com o objetivo de avaliar a variabilidade dos resultados de força de cisalhamento obtidos com os diferentes tratamentos em estudo.

Na Tabela 9 está apresentada a análise estatística descritiva dos resultados do Contrafilé. Foram obtidos coeficientes da variação de 17,9 até 44,2 %, o que significa dizer que a combinação entre Temperatura final de cocção e equipamento ou lâmina de cisalhamento utilizados pode afetar consideravelmente a precisão dos resultados do Contrafilé.

A maior variabilidade, ou seja, a menor precisão para análise da força de cisalhamento de Contrafilé ocorreu no equipamento TAXT3 com temperatura final de cocção 65 °C e resfriadas por 4 horas antes da análise. Já a maior precisão, ou seja, menor coeficiente de variação, foi praticamente igual nos equipamentos TAXT1 e Warner-Bratzler, ambos a 65 °C, porém o primeiro com 24 horas de resfriamento e o segundo com 4 horas. É importante destacar que em ambos os casos, os equipamentos foram utilizados com lâminas de cisalhamento de 1 mm de espessura

(Figuras 4 e 6), o que pode ser um indicativo de que para o Contrafilé, esta lâmina produz resultados mais precisos. Este comportamento também foi observado nas demais temperaturas.

Tabela 9 – Análise estatística descritiva dos resultados de testes de determinação da força de cisalhamento de Contrafilé utilizando diferentes Tempos de resfriamento, Temperaturas finais de cocção e Equipamentos / Lâminas de cisalhamento.

Parâmetro	4 h			24 h		
	65 °C	70 °C	75 °C	65 °C	70 °C	75 °C
TAXT1						
Média	2,9	3,9	3,9	2,9	3,5	4,0
D.P. ¹	1,1	1,4	1,5	0,5	1,1	1,0
C.V. ²	37,3	35,3	37,9	17,9	31,2	24,4
Mínimo	1,6	1,6	1,5	2,0	2,2	1,9
Máximo	5,3	5,9	6,5	3,9	5,3	5,4
TAXT3						
Média	4,3	5,7	6,5	4,6	5,6	5,6
D.P. ¹	1,9	1,9	2,3	1,3	2,0	2,1
C.V. ²	44,2	33,7	34,7	28,0	34,8	37,6
Mínimo	1,7	2,7	2,8	2,3	2,7	2,3
Máximo	8,4	8,4	10,2	6,2	7,9	8,3
Warner-Bratzler						
Média	4,8	6,2	6,7	5,4	6,1	6,2
D.P. ¹	0,9	1,3	2,2	1,2	1,3	1,8
C.V. ²	18,0	21,7	33,5	21,9	21,6	28,5
Mínimo	3,5	3,6	2,3	3,5	4,1	3,6
Máximo	6,1	8,3	9,8	7,9	8,8	9,9

N = 12 unidades experimentais para cada tratamento (Equipamento + Tempo de resfriamento + Temperatura final de cocção); ¹Desvio padrão; ²Coeficiente de variação; TAXT1 = Texturômetro com lâmina de 1 mm; TAXT3 = Texturômetro com lâmina de 3 mm. Resultados expressos em kgf e Coeficientes de variação expressos em %. Fonte: Própria autoria.

No Lagarto, os coeficientes de variação estiveram entre 12,8 e 34,3 % (Tabela 10). Estes valores são inferiores aos observados no Contrafilé, o que de maneira geral pode significar que as características intrínsecas deste corte podem contribuir para uma maior precisão dos resultados de testes de determinação da força de cisalhamento.

Tabela 10 – Análise estatística descritiva dos resultados de testes de determinação da força de cisalhamento de Lagarto utilizando diferentes Tempos de resfriamento, Temperaturas finais de cocção e Equipamentos / Lâminas de cisalhamento.

Parâmetro	4 h			24 h		
	65 °C	70 °C	75 °C	65 °C	70 °C	75 °C
TAXT1						
Média	3,9	5,0	5,0	4,2	4,5	5,0
D.P. ¹	0,6	1,2	1,1	0,9	0,9	1,3
C.V. ²	15,4	24,9	21,9	21,2	19,3	25,7
Mínimo	2,8	3,2	3,5	2,8	3,3	3,0
Máximo	5,0	7,3	6,7	5,5	5,7	7,1
TAXT3						
Média	5,9	6,0	7,2	6,6	8,0	7,0
D.P. ¹	1,2	1,1	2,4	2,3	2,5	1,8
C.V. ²	20,3	18,4	33,7	34,3	31,9	26,4
Mínimo	4,2	4,1	3,7	3,7	5,2	4,2
Máximo	7,9	7,9	12,0	11,5	13,0	9,9
Warner-Bratzler						
Média	7,0	7,5	8,1	6,2	7,1	8,0
D.P.	1,3	1,0	1,3	1,4	1,2	1,1
C.V.	18,3	12,8	16,6	22,1	16,7	13,9
Mínimo	5,3	6,0	6,0	4,0	4,8	6,1
Máximo	9,5	9,2	10,0	8,3	8,7	9,5

N = 12 unidades experimentais para cada tratamento (Equipamento + Tempo de resfriamento + Temperatura final de cocção); ¹Desvio padrão; ²Coeficiente de variação; TAXT1 = Texturômetro com lâmina de 1 mm; TAXT3 = Texturômetro com

lâmina de 3 mm. Resultados expressos em kgf e Coeficientes de variação expressos em %. Fonte: Própria autoria.

Para o Lagarto, assim como no Contrafilé, a menor precisão para análise da força de cisalhamento também ocorreu no equipamento TAXT3 com amostras cozidas na temperatura final de 65 °C porém resfriadas por 24 horas antes da realização da análise.

A maior precisão nos resultados do Lagarto ocorreu no equipamento Warner-Bratzler com a temperatura final de cocção de 70 °C e 4 horas de resfriamento. Porém o coeficiente obtido com o equipamento TAXT1 na temperatura de 65 °C e 4 horas de resfriamento foi de 15,4 %, valor bem próximo ao citado anteriormente, o que corrobora com o comportamento observado no Contrafilé (Tabela 9), de que a lâmina de 1 mm de espessura produz resultados mais precisos.

Na Tabela 11 está apresentada a análise estatística descritiva dos resultados do Filé mignon. Os coeficientes de variação estiveram entre 16 e 34,4 %, valores similares aos obtidos no Lagarto e menores que os observados no Contrafilé, indicando que as características intrínsecas do Filé mignon podem contribuir para uma maior precisão dos resultados de testes de determinação da força de cisalhamento, assim como observado no Lagarto.

A menor precisão dos resultados do Filé mignon foi observada no equipamento TAXT3, na temperatura de 65 °C e com amostras resfriadas por 4 horas. Por outro lado, a maior precisão dos resultados foi obtida exatamente no mesmo equipamento (TAXT3) e temperatura (65 °C) em que a menor precisão foi observada, porém neste caso com o tempo de 24 horas de resfriamento das amostras. Este comportamento indicou que no caso do Filé mignon, um incremento de 20 horas no tempo de resfriamento aumentou expressivamente a precisão dos

resultados no equipamento TAXT3, passando este equipamento da condição de o menos preciso, com 4 horas de resfriamento, para o mais preciso no resfriamento de 24 horas.

Tabela 11 – Análise estatística descritiva dos resultados de testes de determinação da força de cisalhamento de Filé mignon utilizando diferentes Tempos de resfriamento, Temperaturas finais de cocção e Equipamentos / Lâminas de cisalhamento.

Parâmetro	4 h			24 h		
	65 °C	70 °C	75 °C	65 °C	70 °C	75 °C
TAXT1						
Média	2,2	2,8	3,1	3,0	2,8	2,7
D.P. ¹	0,7	0,7	0,8	0,9	0,7	0,5
C.V. ²	30,6	26,6	26,9	28,5	24,8	19,0
Mínimo	1,4	1,6	2,2	1,9	1,6	1,9
Máximo	3,3	4,2	4,6	4,2	4,0	3,6
TAXT3						
Média	3,7	4,5	4,8	4,7	4,8	4,1
D.P. ¹	1,3	1,4	0,9	0,7	1,5	0,8
C.V. ²	34,4	31,3	18,2	16,0	30,8	18,7
Mínimo	2,7	2,1	3,6	3,1	2,4	3,2
Máximo	7,0	6,4	6,3	5,7	7,7	5,6
Warner-Bratzler						
Média	4,4	5,4	4,8	4,8	4,4	4,8
D.P.	1,2	1,2	0,9	0,9	0,9	1,0
C.V.	26,8	22,9	18,4	19,4	20,5	20,1
Mínimo	3,2	3,4	3,7	3,2	3,6	3,6
Máximo	7,5	7,5	6,5	6,6	6,3	6,8

N = 12 unidades experimentais para cada tratamento (Equipamento + Tempo de resfriamento + Temperatura final de cocção); ¹Desvio padrão; ²Coeficiente de variação; TAXT1 = Texturômetro com lâmina de 1 mm; TAXT3 = Texturômetro com lâmina de 3 mm. Resultados expressos em kgf e Coeficientes de variação expressos em %. Fonte: Própria autoria.

Os coeficientes de variação obtidos na temperatura de 65 °C e resfriamento por 4 horas foram maiores em todos os equipamentos testados, o que pode ser um indicativo de que para o corte Filé mignon, a cocção das amostras até a temperatura interna final de 65 °C juntamente com o resfriamento das amostras por apenas 4 horas produz resultados menos precisos do que as demais condições analíticas testadas.

Outra observação importante na análise descritiva dos resultados do Filé mignon, é o fato de que no equipamento Warner-Bratzler com resfriamento de 24 horas, os coeficientes de variação, médias e desvios padrão obtidos nas três temperaturas de cocção foram muito próximos, o que indica que nos referidos equipamento e tempo de resfriamento, o aumento na temperatura final de cocção não provocou alterações na precisão dos resultados.

A análise estatística descritiva dos resultados do corte Picanha está apresentada na Tabela 12. Os coeficientes de variação foram relativamente mais altos do que os observados nos demais cortes apresentados anteriormente, variando de 20,2 a 45,9 %. A ocorrência de coeficientes mais altos pode ser um indicativo de que as características intrínsecas deste corte cárneo fazem que o mesmo naturalmente provoque menor precisão nos resultados de testes de determinação da força de cisalhamento.

A menor precisão dos resultados foi observada no equipamento TAXT3, na temperatura de 75 °C e com 24 horas de resfriamento das amostras. Já a maior precisão ocorreu no equipamento Warner-Bratzler, na temperatura de 75 °C e com 4 horas de resfriamento.

Tabela 12 – Análise estatística descritiva dos resultados de testes de determinação da força de cisalhamento de Picanha utilizando diferentes Tempos de resfriamento, Temperaturas finais de cocção e Equipamentos / Lâminas de cisalhamento.

Parâmetro	4 h			24 h		
	65 °C	70 °C	75 °C	65 °C	70 °C	75 °C
TAXT1						
Média	2,3	2,3	3,3	2,9	2,3	3,0
D.P. ¹	0,9	0,6	1,2	1,1	0,7	1,1
C.V. ²	41,9	26,0	36,6	38,8	30,6	36,5
Mínimo	1,0	1,4	1,7	1,2	1,3	1,3
Máximo	3,6	3,6	5,2	5,2	3,7	4,7
TAXT3						
Média	2,8	4,0	3,6	3,6	3,1	4,4
D.P. ¹	0,7	1,5	1,1	1,0	1,1	2,0
C.V. ²	25,2	36,4	29,6	27,7	35,9	45,9
Mínimo	1,9	1,4	2,0	1,9	1,6	1,5
Máximo	4,2	5,7	4,8	4,8	4,5	7,1
Warner-Bratzler						
Média	4,3	4,2	4,2	4,4	3,7	4,7
D.P. ¹	1,5	0,9	1,5	1,4	0,8	1,6
C.V. ²	34,3	20,2	35,1	31,5	22,8	34,4
Mínimo	2,5	2,5	3,0	2,5	2,2	2,7
Máximo	7,2	5,6	8,1	7,6	4,8	8,4

N = 12 unidades experimentais para cada tratamento (Equipamento + Tempo de resfriamento + Temperatura final de cocção); ¹Desvio padrão; ²Coeficiente de variação; TAXT1 = Texturômetro com lâmina de 1 mm; TAXT3 = Texturômetro com lâmina de 3 mm. Resultados expressos em kgf e Coeficientes de variação expressos em %. Fonte: Própria autoria.

Nos equipamentos com lâmina de 1 mm de espessura e com resfriamento de 4 horas, a modificação da temperatura de 65 para 70 °C no TAXT1 e de 70 para 75 °C no Warner-Bratzler ocasionou grandes modificações na precisão dos resultados do corte Picanha. No caso do equipamento TAXT1, o aumento de 5 °C na

temperatura diminuiu quase 16 % da variação nos resultados. Em ambos os equipamentos citados, a temperatura de 70 °C foi a que obteve melhor precisão.

Na Tabela 13 está apresentada a análise estatística descritiva dos resultados do Coxão duro. Os coeficientes de variação ficaram entre 17,5 e 47,3 %, amplitude esta que foi bem próxima à observada no corte Contrafilé (Tabela 9). De maneira geral pode-se observar que uma maior amplitude nos coeficientes de variação representa maior vulnerabilidade dos resultados de um determinado corte cárneo quanto à precisão, de acordo com as condições analíticas utilizadas.

A menor precisão dos resultados foi observada no equipamento Warner-Bratzler, na temperatura de 70 °C e com 4 horas de resfriamento. Por outro lado, a maior precisão ocorreu no equipamento TAXT3 na temperatura de 70 °C e com 4 horas de resfriamento. Observou-se que no caso do Coxão duro, a utilização do equipamento TAXT3 aumentou a precisão dos resultados em quase 30 % nas condições de temperatura e tempo de resfriamento citadas (70 °C / 4 horas) em relação ao Warner-Bratzler.

Observou-se ainda, que de maneira similar ao ocorrido no corte Picanha (Tabela 12), o aumento na temperatura de 70 para 75 °C causou grande modificação nos coeficientes de variação dos resultados obtidos nos equipamentos TAXT3 e Warner-Bratzler com 4 horas de resfriamento das amostras. Porém no caso do TAXT3 o aumento da temperatura diminuiu e no Warner-Bratzler aumentou a precisão. Neste último equipamento, o incremento de 5 °C na temperatura final de cocção aumentou em mais de 26 % a precisão dos resultados.

Tabela 13 – Análise estatística descritiva dos resultados de testes de determinação da força de cisalhamento de Coxão duro utilizando diferentes Tempos de resfriamento, Temperaturas finais de cocção e Equipamentos / Lâminas de cisalhamento.

Parâmetro	4 h			24 h		
	65 °C	70 °C	75 °C	65 °C	70 °C	75 °C
TAXT1						
Média	3,2	4,0	5,2	3,4	4,0	4,7
D.P. ¹	0,8	1,1	1,2	1,0	1,6	1,2
C.V. ²	24,5	28,3	23,5	29,5	39,7	24,9
Mínimo	1,8	2,7	3,7	1,7	1,9	3,2
Máximo	4,2	6,2	7,3	5,2	8,1	7,2
TAXT3						
Média	4,0	4,9	5,8	4,6	5,1	6,3
D.P. ¹	1,0	0,9	1,6	1,0	1,3	1,3
C.V. ²	25,8	17,5	27,9	22,6	25,6	20,4
Mínimo	3,0	4,0	3,9	2,3	2,4	4,1
Máximo	6,4	6,3	9,6	6,3	7,2	8,7
Warner-Bratzler						
Média	6,0	6,3	7,7	5,6	5,9	6,7
D.P. ¹	2,0	3,0	1,6	1,4	1,5	1,8
C.V. ²	33,4	47,3	21,2	24,7	25,5	26,9
Mínimo	4,5	3,5	5,6	3,5	3,4	4,7
Máximo	11,5	14,5	10,9	8,0	7,5	11,0

N = 12 unidades experimentais para cada tratamento (Equipamento + Tempo de resfriamento + Temperatura final de cocção); ¹Desvio padrão; ²Coeficiente de variação; TAXT1 = Texturômetro com lâmina de 1 mm; TAXT3 = Texturômetro com lâmina de 3 mm. Resultados expressos em kgf e Coeficientes de variação expressos em %. Fonte: Própria autoria.

Para facilitar a visualização das melhores e piores condições analíticas em termos de precisão dos resultados dos testes de determinação da força de cisalhamento dos cinco cortes cárneos em estudo, foi criado um resumo apresentando destas condições, que está apresentado abaixo na Tabela 14.

Tabela 14 – Resumo das condições que ocasionaram maior e menor precisão¹ nos resultados de testes de determinação da força de cisalhamento dos cinco cortes cárneos em estudo.

Corte cárneo	Maior precisão	Menor precisão
Contrafilé	TAXT1; 65 °C; 24 h Warner-Bratzler; 65°C; 4h	TAXT3; 65 °C; 4 h
Lagarto	TAXT1; 65 °C; 4 h	TAXT3; 65 °C; 24 h
Filé mignon	TAXT3; 65 °C; 24 h	TAXT3; 65 °C; 4 h
Picanha	Warner-Bratzler; 75°C; 4 h	TAXT3; 75 °C; 24 h
Coxão duro	TAXT3; 70 °C; 4 h	Warner-Bratzler; 70 °C; 4 h

¹Precisão baseada nos coeficientes de variação (C.V.) dos resultados, onde o maior coeficiente significa a menor precisão.

Assim pode-se sugerir que para a maioria dos cortes cárneos, os equipamentos com lâmina de 1 mm de espessura provocaram a maior precisão nos resultados (Tabela 14). Por outro lado, o equipamento TAXT3 ocasionou menor precisão em todos os cortes, com exceção do Coxão duro.

Considerando que o uso de diferentes temperaturas finais de cocção podem afetar significativamente os valores da força de cisalhamento de carnes (OBUZ et al., 2004; YANCEY; WHARTON; APPLE, 2011), o desdobramento das diferentes temperaturas em função de cada corte cárneo e equipamento (Tabela 15) foram estudados com o objetivo de identificar possíveis efeitos da utilização das temperaturas finais de cocção propostas (65, 70 e 75 °C), em cada um dos cortes cárneos e equipamentos em estudo, uma vez que estudos relacionando temperaturas, equipamentos e diferentes cortes cárneos são escassos.

Tabela 15 – Desdobramento dos efeitos do uso de diferentes Equipamentos/Lâminas e Temperaturas finais de cocção nos resultados de teste de determinação da força de cisalhamento de cinco cortes cárneos pelo método Warner-Bratzler.

Corte cárneo	TAXT1			TAXT3			Warner-Bratzler		
	65 °C	70 °C	75 °C	65 °C	70 °C	75 °C	65 °C	70 °C	75 °C
Contrafilé	2,9 ^{B,xy}	3,7 ^{B,xy}	3,9 ^{B,xy}	4,4 ^{b,A,y}	5,7 ^{ab,A,y}	6,1 ^{a,A,x}	5,1 ^{b,A,yz}	6,2 ^{ab,A,xy}	6,4 ^{a,A,y}
Coxão Duro	3,3 ^{b,B,xy}	4,0 ^{ab,B,xy}	5,0 ^{a,B,x}	4,3 ^{b,B,y}	5,0 ^{ab,AB,y}	6,0 ^{a,AB,x}	5,8 ^{b,A,xy}	6,1 ^{ab,A,xy}	7,2 ^{a,A,xy}
Filé Mignon	2,6 ^{B,y}	2,8 ^{B,yz}	2,9 ^{B,y}	4,2 ^{A,y}	4,6 ^{A,yz}	4,5 ^{A,y}	4,6 ^{A,yz}	4,9 ^{A,yz}	4,8 ^{A,z}
Lagarto	4,0 ^{B,x}	4,8 ^{B,x}	5,0 ^{B,x}	6,3 ^{A,x}	7,0 ^{A,x}	7,1 ^{A,x}	6,6 ^{b,A,x}	7,3 ^{ab,A,x}	8,0 ^{a,A,x}
Picanha	2,6 ^{B,y}	2,3 ^{B,z}	3,2 ^{B,y}	3,2 ^{AB,y}	3,6 ^{AB,z}	4,0 ^{AB,y}	4,3 ^{A,z}	4,0 ^{A,z}	4,5 ^{A,z}

Letras “a” e “b” minúsculas, diferentes, em uma mesma linha e dentro de cada equipamento diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey; Letras “A” e “B” maiúsculas, diferentes, em uma mesma linha e dentro da mesma temperatura diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey; Letras “x”, “y” e “z” minúsculas, diferentes e em uma mesma coluna diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey. TAXT1 = Texturômetro com lâmina de 1 mm; TAXT3 = Texturômetro com lâmina de 3 mm. Fonte: Própria autoria.

O uso do texturômetro equipado com a lâmina de 1 mm (TAXT1) provocou a ocorrência de resultados bastante similares independente da temperatura final de cocção para quase todos os cortes cárneos avaliados (Tabela 15). A respeito do efeito da temperatura final de cocção, foi observada diferença significativa ($p < 0,05$) apenas nos resultados do Coxão duro, onde a temperatura de 65 °C ocasionou o menor resultado e a temperatura de 75 °C o maior. Nos testes realizados utilizando o texturômetro equipado com lâmina de 3 mm (TAXT3), foram detectadas efeitos significativos ($p < 0,05$) das temperaturas finais de cocção apenas para os cortes Contrafilé e Coxão duro. Nos dois cortes o comportamento dos resultados foi o mesmo observado no equipamento TAXT1, pois as maiores forças de cisalhamento foram obtidas com o uso da temperatura de 65°C e as menores forças com a temperatura de 75°C os maiores.

Dentre os três equipamentos em estudo, o Warner-Bratzler foi o mais sensível em termos de detecção de diferenças entre os resultados obtidos com a utilização das três temperaturas finais de cocção em estudo. Foram observadas diferenças significativas nos cortes Contrafilé, Coxão duro e Lagarto e os resultados se comportaram da mesma maneira observada nos equipamentos anteriores, ou seja, a temperatura de 65°C ocasionou as menores forças de cisalhamento e a temperatura de 75°C as maiores forças.

Para facilitar a visualização do efeito das diferentes temperaturas nos equipamentos/lâminas de cisalhamento e cortes cárneos em estudo, as médias foram plotadas em gráficos (Figura 9). Observou-se que em quase todos os casos, a temperatura de 65 °C, representada pelo símbolo $\blacklozenge$, ocasionou os menores valores, enquanto que a utilização de 75 °C, representada pelo símbolo $\bullet$, ocasionou os maiores valores.

Figura 9 – Efeito do uso de diferentes temperaturas finais de cocção no preparo de amostras de cinco cortes cárneos bovinos submetidos à determinação da força de cisalhamento utilizando três diferentes equipamentos/lâminas de cisalhamento.

◆ 65 °C; ■ 70 °C; ○ 75 °C; CF: Contrafilé; CD: Coxão Duro; FM: Filé mignon; L: Lagarto; P: Picanha. Fonte: Própria autoria.

Yancey, Wharton e Apple (2011) testaram o efeito da utilização de três diferentes temperaturas e cinco métodos de cocção na força de cisalhamento de *Logissimus thoracis* e observaram diferença significativa entre as três temperaturas testadas (65,5, 71,1 e 76,6 °C): o aumento da temperatura provocou aumento nos valores da força de cisalhamento, observando um aumento de 8,6 N (27,48 %) nos resultados, ao elevarem a temperatura final de cocção de 65,5 para 76,6 °C. Nesta tese, a elevação da temperatura de 65 para 75 °C provocou aumento significativo ($p < 0,05$) em alguns resultados, sendo 49,1 % de aumento para o Coxão duro no equipamento TAXT1; 36,5 e 39,6 % para os cortes Contrafilé e Coxão duro, respectivamente, no equipamento TAXT 3 mm; e 26,1, 23,6 e 31,2 % para os cortes Contrafilé, Coxão duro e Lagarto, respectivamente, no equipamento Warner-Bratzler.

Souza (2008), estudando o efeito de duas temperaturas finais de cocção (71 e 74 °C) na força de cisalhamento de *Longissimus dorsi* bovino pelo método Warner-Bratzler, não observou diferença significativa ($p>0,05$) entre os resultados. De maneira similar, na presente tese também não foram observadas diferenças significativas entre os resultados das temperaturas 65 e 70 °C e também das temperaturas 70 e 75 °C em nenhum dos cortes cárneos avaliados (Tabela 15).

Observou-se que apesar de o Warner-Bratzler ter sido o equipamento no qual foi observada a maior ocorrência de diferenças significativas entre as temperaturas finais de cocção, o Texturômetro equipado com lâmina de 1 mm de espessura (TAXT1) foi o que ocasionou maior percentual de aumento nos valores da força de cisalhamento (49,1 %).

Em um estudo envolvendo maciez medida utilizando-se o método Warner-Bratzler, Obuz et al. (2004) testaram nove temperaturas finais de cocção (40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 e 80 °C) em três diferentes músculos (*Longissimus lumborum*, *Biceps femoris* e *Deep pectoralis*). Os músculos com maior teor de colágeno tiveram uma queda nos valores da força de cisalhamento entre as temperaturas de 45 e 65 °C e um aumento nos valores entre as temperaturas de 65 e 80 °C, enquanto que no músculo com menor conteúdo de colágeno (*Longissimus lumborum*) o mesmo efeito não foi observado tão claramente. Estes resultados corroboram com a presente tese, pois foram observados efeitos da temperatura apenas nos cortes Contrafilé, Coxão duro e Lagarto, sendo que o Coxão duro foi o único afetado em todos equipamentos testados.

Os resultados da caracterização físico-química e bioquímica dos cinco cortes cárneos em estudo foram importantes para demonstrar que a maciez é um parâmetro de qualidade bastante complexo e derivado de diversos fatores que

podem variar significativamente entre diferentes cortes/músculos. Os cortes Filé mignon e Picanha por exemplo, foram os mais macios nos resultados da força de cisalhamento (Tabela 15) e ao mesmo tempo obtiveram resultados opostos aos esperados nos parâmetros índice de fragmentação miofibrilar, teor de colágeno e comprimento dos sarcômeros (Tabela 3), uma vez que espera-se que carne mais macias tenham maiores valores de IFM e comprimento de sarcômeros e menor teor de colágeno (HOPKINS et al., 2011; OLSON; PARRISH JR, 1977; YOUNG; BRAGGINS, 1993).

Em estudo sobre os parâmetros físico-químicos da carne de bovinos Angus e Nelore, Rossato et al. (2010) não observaram diferença significativa ($p>0,05$) entre os teores de umidade, lipídeos e proteínas das carnes, porém notaram diferença significativa na maciez medida utilizando texturômetro com lâmina de 1 mm. Os animais da raça Angus apresentaram carne com maciez de 1,27 kg menor que os da raça Nelore.

Ao avaliarem as características físico-químicas da carne de bubalinos abatidos em diferentes períodos de confinamento, Andrighetto et al. (2008) não observaram diferença significativa entre os teores de umidade, proteína lipídeos e maciez medida em Warner-Bratzler na carne dos animais abatidos com 75, 100, 125 e 150 dias de confinamento.

Na presente tese, as temperaturas finais de cocção não afetaram significativamente os teores de lipídeos (Tabela 5), porém afetaram a força de cisalhamento de alguns dos cortes dependendo do equipamento utilizado para a determinação da força de cisalhamento (Tabela 15). As temperaturas finais de cocção também não afetaram significativamente a umidade dos cortes Filé mignon e Coxão duro, mas por outro lado afetaram a força de cisalhamento do Coxão duro

nos três equipamentos testados e não exerceu efeito na força de cisalhamento do Filé mignon.

Estes resultados demonstraram que, assim como outros parâmetros de qualidade, a composição química também possui relação com a maciez da carne, porém esta correlação depende de outras circunstâncias, tornando a maciez um atributo bastante complexo de ser explicado.

Uma vez que foi observada interação significativa entre os fatores Corte cárneo e Equipamento (Tabela 8), foram realizados os desdobramentos dos efeitos do uso de diferentes equipamentos para cada corte cárneo e temperatura final de cocção em estudo (Tabela 15). Tais desdobramentos podem auxiliar no estudo do impacto do uso dos diferentes equipamentos nos resultados da força de cisalhamento de cada combinação corte cárneo x temperatura final de cocção.

Em todas as temperaturas, as menores forças de cisalhamento foram obtidas no equipamento TAXT1 e as maiores no Warner-Bratzler. Nos cortes Contrafilé, Filé mignon e Lagarto, os resultados obtidos com o equipamento TAXT3 foram estatisticamente semelhantes ($p>0,05$) aos obtidos com o Warner-Bratzler, ou seja, nestes casos o equipamento TAXT3 também ocasionou maiores valores de força de cisalhamento. Para o corte Coxão duro nas temperaturas de 70 e 75 °C e Picanha nas três temperaturas avaliadas, as forças de cisalhamento obtidas no equipamento TAXT3 foram estatisticamente semelhantes às obtidas nos outros dois equipamentos. Já na temperatura de 65 °C para o corte Coxão duro, o equipamento TAXT 3 produziu resultado semelhante ao TAXT1.

Para facilitar a visualização do efeito dos diferentes equipamentos/lâminas de cisalhamento nos resultados da força de cisalhamento utilizando as temperaturas e cortes cárneos em estudo, as médias foram plotadas em gráficos e estão

apresentadas na Figura 10. É possível confirmar que, em todos os casos, o Texturômetro com lâmina de 1 mm (TAXT1), representado pelo símbolo **◆**, ocasionou os menores valores, enquanto que o Warner-Bratzler, representado pelo símbolo **○**, ocasionou os maiores valores.

Figura 10 – Efeito do uso de diferentes equipamentos/lâminas de cisalhamento na determinação da força de cisalhamento de cinco cortes cárneos bovinos submetidos a três temperaturas finais de cocção.

◆ Texturômetro com lâmina de 1 mm (TAXT1); ■ Texturômetro com lâmina de 3 mm (TAXT3); ○ Warner-Bratzler; CF: Contrafilé; CD: Coxão Duro; FM: Filé mignon; L: Lagarto; P: Picanha. Fonte: Própria autoria.

De maneira geral, os dados apresentados na Tabela 15 e ilustrados na Figura 10, sugeriram que os equipamentos TAXT3 e Warner-Bratzler produzem resultados mais semelhantes entre si do que aqueles produzidos pelo equipamento TAXT1 para a maioria dos cortes cárneos avaliados. Estes resultados estão em desacordo com os publicados por Arantes-Pereira et al. (2016), que ao estudarem o efeito dos mesmos equipamentos/lâminas de cisalhamento utilizados no presente trabalho,

observaram que o Texturômetro equipado com lâmina de 3 mm de espessura (TAXT3) superestimou ($p < 0,05$) os resultados nos cortes Maminha, Lagarto, Filé mignon, Picanha e Lombo suíno, em relação aos demais equipamentos. Apenas no corte Contrafilé estes autores não observaram diferenças significativas entre os resultados. Da mesma forma, Souza (2008) também não observou diferença significativa entre os resultados da força de cisalhamento de *Longissimus dorsi* (o músculo predominante no corte Contrafilé) avaliada pelo método Warner-Bratzler utilizando lâminas de 1 e 3 mm de espessura.

Para estudo da sensibilidade de detecção de diferenças entre a força de cisalhamento dos diferentes cortes cárneos em estudo, foram realizados os desdobramentos dos cortes cárneos em função de cada combinação Equipamento x Temperatura de cocção (Tabela 15). Tais desdobramentos podem auxiliar na definição das condições analíticas com maior capacidade de detectar diferenças entre a força de cisalhamento de diferentes cortes cárneos.

Observou-se que todas as condições analíticas testadas foram capazes de detectar diferença significativa ($p < 0,05$) entre a força de cisalhamento dos cortes Lagarto e Picanha, onde em todos os casos o primeiro corte obteve as maiores médias e o segundo as menores. Não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os resultados dos cortes Contrafilé e Coxão duro em nenhuma das condições testadas (Tabela 15).

A menor sensibilidade de detecção de diferenças entre a força de cisalhamento dos cortes cárneos em estudo foi observada no tratamento em que foi utilizado o equipamento TAXT3 e temperatura final de cocção de 65 °C. No referido tratamento, somente o corte Lagarto foi estatisticamente diferente ($p < 0,05$) dos demais, enquanto que todos os outros cortes foram considerados como tendo força

de cisalhamento estatisticamente semelhante entre si. Sendo assim, este tratamento pode ser considerado ineficiente uma vez que iguala a maciez instrumental de cortes popularmente conhecidos por grande diferença na maciez como é o caso do Coxão duro e Filé mignon, por exemplo.

Após o tratamento referido acima, os tratamentos em que foi utilizada a temperatura final de cocção de 70 °C também foram considerados de menor eficiência quanto à sensibilidade de detecção de diferenças entre a força de cisalhamento de diferentes cortes cárneos. Em todos estes tratamentos, foram observadas apenas diferenças extremas entre os cortes Lagarto e Picanha, onde o primeiro corte obteve as maiores médias e o segundo as menores. Os cortes Contrafilé, Coxão duro e Filé mignon foram considerados estatisticamente semelhantes ($p>0,05$) em todos estes tratamentos.

Os tratamentos em que foi utilizada a temperatura final de cocção de 75 °C podem ser considerados os de maior eficiência quanto à sensibilidade na detecção de diferenças entre as forças de cisalhamento de diferentes cortes cárneos. Em todos estes tratamentos, as maiores forças de cisalhamento foram observadas nos cortes Coxão duro e Lagarto e estas forças foram significativamente diferentes ($p<0,05$) das observadas nos cortes Filé mignon e Picanha. As forças de cisalhamento do corte Contrafilé foram semelhante às forças de todos os demais cortes no equipamento TAXT1, às forças dos cortes Coxão duro e Lagarto no equipamento TAXT3 e apenas à força de cisalhamento do Coxão duro no equipamento Warner-Bratzler.

De maneira geral, estas semelhanças e diferenças entre as forças de cisalhamento observadas nos tratamentos em que foi utilizada a temperatura final de cocção de 75 °C, são os que mais se aproximam da literatura (BELEW et al., 2003;

RHEE et al., 2004), sendo assim, pode-se dizer que esta temperatura aumentou a reprodutibilidade dos testes, porém vale lembrar que esta mesma temperatura foi a que produziu as maiores forças de cisalhamento em quase todos os cortes cárneos e equipamentos testados (Figura 9).

Para facilitar a visualização do comportamento dos resultados da força de cisalhamento dos cinco cortes cárneos em estudo quando utilizados os diferentes tratamentos propostos neste trabalho, as médias foram plotadas em gráficos e estão apresentadas na Figura 11.

Figura 11 – Efeito do uso de diferentes equipamentos e temperaturas finais de cocção nos resultados da força de cisalhamento de cinco cortes cárneos bovinos.

Observou-se que em quase todos os casos, as maiores forças de cisalhamento foram obtidas no corte Lagarto representado pelo símbolo ×, enquanto que as menores forças foram obtidas no corte Picanha, representado pelo símbolo +. É possível observar ainda, que os equipamentos TAXT3 e Warner-Bratzler

produziram maior diferença entre os resultados dos diferentes cortes cárneos, enquanto que nos resultados obtidos com o equipamento TAXT1, os resultados foram mais próximos entre si.

Com base nestas observações foi possível constatar que alguns dos tratamentos (equipamentos e/ou temperaturas finais de cocção) foram mais sensíveis para detectar diferenças entre forças de cisalhamento do que outros, e isto é um fator que deve ser observado principalmente em comparações com resultados encontrados na literatura. Da mesma, maneira Pinto, Ponsano e Almeida (2010), ao avaliarem diferenças na força de cisalhamento do músculo *Longissimus dorsi* submetido a dois métodos de resfriamento, observaram que a lâmina de 1 mm de espessura foi capaz de detectar diferença entre os tratamentos aplicados, enquanto que com a utilização da lâmina de 3 mm de espessura, esta diferença não foi detectada.

5.3 Correlações entre atributos de qualidade de carnes e resultados de força de cisalhamento

Visando estudar correlações entre alguns dos principais atributos de qualidade de carnes, e entre estes atributos e os resultados de força de cisalhamento, e ainda entre os resultados de força de cisalhamento obtidos com os diferentes métodos e condições de análise estudados neste trabalho, foram calculados coeficientes de correlação de *Pearson*. Para o estudo destas correlações não foram considerados os tempos de resfriamento, uma vez que os mesmos não provocaram efeito significativo nos resultados dos testes de determinação das força de cisalhamento (Tabela 4).

Na Tabela 16 estão apresentados os coeficientes de correlação obtidos entre

os parâmetros pH, Índice de Fragmentação Miofibrilar (IFM), Temperatura de desnaturação das proteínas Actina e Miosina, Cor instrumental, Teor de colágeno, Comprimento de sarcômeros e Perdas de peso por cocção e ainda entre todos estes parâmetros e os resultados dos testes de determinação da força de cisalhamento utilizando os diferentes equipamento / lâminas de cisalhamento e temperaturas finais de cocção estudados.

De maneira geral os coeficientes foram baixos, havendo poucas associações entre os parâmetros avaliados. Não foram observadas correlações fortes (acima de 0,80) para nenhum dos parâmetros. Foram observadas correlações médias (0,51 a 0,69) em algumas associações entre os parâmetros IFM, Cor instrumental, Perdas de peso por cocção, Força de cisalhamento e Comprimento de sarcômeros.

No parâmetro L^* foi observada correlação média com b^* (0,67). No parâmetro a^* foram observadas correlações médias com IFM (0,51), b^* (0,69), e Força de cisalhamento TAXT1 e TAXT3 com temperatura final de cocção de 70 °C (0,56 e 0,51, respectivamente) e WB com temperatura final de cocção de 75 °C (0,53). No parâmetro b^* foram obtidas correlações médias com os resultados de Força de cisalhamento TAXT1 com temperaturas finais de cocção de 70 °C (0,62) e 75 °C (0,56), TAXT3 com temperaturas finais de cocção de 65 °C (0,62) e 70 °C (0,53) e WB com temperaturas finais de cocção de 70 °C (0,60) e 75 °C (0,64). Também foi observada correlação média positiva entre Perdas de peso por cocção com temperatura final de cocção de 75 °C e comprimento de sarcômeros (0,62).

Tabela 16 – Coeficientes de correlação de Pearson entre parâmetros de qualidade e forças de cisalhamento de cinco cortes bovinos medidas utilizando diferentes equipamentos e temperaturas finais de cocção das amostras.

Variáveis	pH	IFM	Actina	Miosina	L*	a*	b*	Colágeno	Sarcômeros	PPC 65 °C	PPC 70 °C	PPC 75 °C
IFM	-0,26											
Actina	-0,42	0,05										
Miosina	0,10	0,10	-0,05									
L*	0,13	0,20	-0,10	-0,14								
a*	-0,23	0,51	0,13	-0,17	0,23							
b*	-0,24	0,45	0,02	-0,24	0,67	0,69						
Colágeno	0,25	0,01	0,20	-0,07	0,22	0,02	0,04					
Sarcômeros	-0,14	-0,17	0,15	-0,33	-0,13	0,16	0,03	-0,36				
PPC 65 °C	0,04	-0,14	0,12	-0,15	0,23	-0,08	0,17	0,05	0,01			
PPC 70 °C	0,09	0,10	-0,14	0,02	0,36	0,06	0,20	0,16	-0,42	0,09		
PPC 75 °C	0,17	0,22	-0,10	0,36	0,19	-0,29	-0,12	0,16	-0,62	0,07	0,43	
TAXT1 65 °C	0,15	0,41	0,19	0,06	0,39	0,42	0,46	0,11	-0,07	0,16	0,27	0,15
TAXT1 70 °C	-0,03	0,40	0,26	-0,19	0,49	0,56	0,62	0,34	-0,03	0,15	0,20	-0,01
TAXT1 75 °C	-0,10	0,43	0,34	-0,08	0,36	0,49	0,56	0,21	-0,11	0,02	0,23	0,07
TAXT3 65 °C	-0,05	0,34	0,03	-0,15	0,39	0,41	0,62	0,04	0,11	0,07	0,21	-0,09
TAXT3 70 °C	-0,02	0,33	0,27	-0,20	0,40	0,51	0,53	0,35	0,13	0,05	0,17	-0,04
TAXT3 75 °C	0,06	0,34	0,22	-0,10	0,34	0,43	0,46	0,41	-0,06	-0,03	0,21	0,06
WB 65 °C	0,03	0,29	0,23	-0,03	0,33	0,36	0,40	0,17	-0,01	0,11	0,22	0,12
WB 70 °C	-0,11	0,34	0,09	-0,22	0,42	0,47	0,60	0,06	0,15	0,07	0,10	-0,08
WB 75 °C	-0,05	0,48	0,11	-0,06	0,43	0,53	0,64	0,06	0,00	-0,02	0,16	0,06

IFM: Índice de Fragmentação Miofibrilar; Actina: Temperatura de desnaturação da proteína Actina; Miosina: Temperatura de desnaturação da proteína Miosina; Sarcômeros: Comprimento dos Sarcômeros; PPC: Perda de peso por cocção; TAXT1: Texturômetro com lâmina de 1 mm; TAXT3 : Texturômetro com lâmina de 3 mm; WB: Warner-Bratzler. Fonte: Própria autoria.

Ao estudarem a palatabilidade e parâmetros bioquímicos de onze músculos bovinos, Rhee et al. (2004), assim como na presente tese, também não encontraram fortes correlações entre os parâmetros avaliados. Esses autores determinaram os seguintes coeficientes de correlação para Força de cisalhamento medida utilizando o método Warner-Bratzler e temperatura final de cocção de 70 °C: Comprimento de sarcômeros (-0,56), Colágeno (0,32) e Perdas de peso por cocção (0,46). Os coeficientes obtidos para Comprimento de sarcômeros foram: Colágeno (-0,31) e Perdas de peso por cocção (-0,04). Já o coeficiente de correlação obtido entre Colágeno e Perdas de peso por cocção foi de 0,13. Com exceção dos dois últimos coeficientes de correlação, todos os demais aqui citados encontrados por aqueles autores foram maiores do que os obtidos nesta tese nas mesmas condições analíticas.

Ao correlacionarem os parâmetros de cada músculo individualmente, Rhee et al. (2004) perceberam ainda, que os coeficientes foram muito diferentes de um músculo para o outro, como por exemplo as correlações entre Força de cisalhamento e Comprimento de sarcômeros que variaram entre -0,49 no músculo *Supraspinatus* a 0,22 no *Triceps branchii* e entre Colágeno e Perdas de peso por cocção que variaram entre -0,09 no músculo *Infraspinatus* e 0,68 no *Longissimus*.

Wyrwisz et al. (2012), estudando as correlações entre a composição química, pH e algumas propriedades físicas de cinco músculos bovinos, observaram correlações negativas entre os parâmetros de cor instrumental e pH, porém a magnitude das correlações foi dependente do músculo avaliado. Os coeficientes de correlação entre pH e L* variaram de -0,338 no músculo *Triceps branchii* até -0,831 no *Semitendinosus*. Os coeficientes observados entre pH e a* variaram de -0,542 no músculo *Longissimus* até -0,828 no *Triceps branchii*. Já os coeficientes entre pH

e b^* observados foram entre -0,719 no músculo *Longissimus* e -0,912 no *Triceps branchii*. Além destas correlações aqui citadas, aqueles autores observaram que na maioria das outras correlações por eles testadas, a magnitude dos coeficientes foi dependente do músculo avaliado. No caso desta tese, não foram calculadas as correlações considerando cada músculo individualmente, o que pode ter contribuído para a ocorrência de baixos coeficientes em quase todas as associações testadas (Tabela 16).

Marino et al. (2013) observaram que a maturação por 21 dias aumentou significativamente o IFM do músculo *Longissimus* de bovinos de três diferentes raças, porém a magnitude do aumento no IFM foi diferente para cada raça. Esses autores observaram ainda uma forte correlação entre os valores de IFM e a força de cisalhamento medida pelo método Warner-Bratzler (0,98).

Silva, Contreras-Castillo e Ortega (2007) estudaram o efeito da cocção na qualidade do músculo *Semitendinosus* e observaram que na cocção a vapor, a força de cisalhamento medida pelo método Warner-Bratzler apresentou maior correlação com o teor de colágeno (-0,299) do que na cocção em água (-0,182), porém em ambos os casos, as correlações foram baixas. Derington et al. (2011) observaram coeficientes de correlação entre Perdas de peso por cocção e força de cisalhamento Warner-Bratzler do corte bovino americano *Strip loin* variando de 0,24 a 0,31, de acordo com a localidade de retirada das amostras na peça.

Os coeficientes de correlação de *Pearson* entre os resultados das forças de cisalhamento medidas utilizando diferentes equipamentos e temperaturas finais de cocção das amostras estão apresentados na Tabela 17. Com exceção da correlação entre os resultados do equipamento TAXT1 a 65 °C e WB a 70 °C, em todas as demais combinações foram obtidos coeficientes acima de 0,50.

Tabela 17 – Coeficientes de correlação de Pearson entre forças de cisalhamento de cinco cortes bovinos medidas utilizando diferentes equipamentos e temperaturas finais de cocção das amostras.

Variáveis	TAXT1 65 °C	TAXT1 70 °C	TAXT1 75 °C	TAXT3 65 °C	TAXT3 70 °C	TAXT3 75 °C	WB 65 °C	WB 70 °C
TAXT1 70 °C	0,57							
TAXT1 75 °C	0,59	0,79						
TAXT3 65 °C	0,54	0,61	0,53					
TAXT3 70 °C	0,55	0,83	0,69	0,60				
TAXT3 75 °C	0,52	0,79	0,76	0,56	0,87			
WB 65 °C	0,65	0,62	0,59	0,65	0,55	0,61		
WB 70 °C	0,39	0,72	0,60	0,54	0,69	0,70	0,55	
WB 75 °C	0,63	0,78	0,81	0,62	0,72	0,76	0,60	0,80

TAXT1: Texturômetro com lâmina de 1 mm; TAXT3 : Texturômetro com lâmina de 3 mm; WB: Warner-Bratzler. Fonte: Própria autoria.

A maior correlação (0,87) foi observada no equipamento TAXT3 entre as temperaturas de 70 e 75 °C, sendo que também foi observada uma forte correlação (0,80) no equipamento WB entre as mesmas temperaturas. Já no equipamento TAXT1 esta correlação foi levemente inferior (0,79). Entre as temperaturas de 65 e 70 °C, o maior coeficiente foi observado no equipamento TAXT3 (0,60). Nas correlações entre os resultados obtidos utilizando a mesma temperatura, os maiores coeficientes foram observados nos equipamentos TAXT1 e TAXT3 a 70 °C (0,83) e TAXT1 e WB a 75 °C (0,81), enquanto que na temperatura de 65 °C os coeficientes foram iguais ou inferiores a 0,65.

Vale a pena ressaltar que, de maneira geral, foram obtidas correlações mais fortes entre as temperaturas de 70 e 75 °C do que aquelas obtidas entre as temperaturas de 65 e 70 °C. Considerando que a temperatura padrão preconizada no método Warner-Bratzler é de 71 °C (AMSA, 2015), e que no presente estudo foi observado que os resultados da força de cisalhamento obtidos utilizando temperatura final de cocção de 70 °C são estatisticamente semelhantes ($p>0,05$) aos obtidos utilizando as temperaturas de 65 e 75 °C em cada equipamento (Tabela 15), pode-se recomendar que é menos prejudicial que a temperatura final de cocção das amostras fique levemente acima do recomendado do que caso fique abaixo. Em um estudo visando avaliar as correlações entre a maciez instrumental e sensorial dos músculos *Longissimus* e *Semitendinosus*, Otremba et al. (1999) correlacionaram os resultados da força de cisalhamento medida pelo método Warner-Bratzler utilizando a lâmina padrão em formato de “V” e uma lâmina reta, ambas com a mesma espessura, tipo de borda e material metálico. Esses autores determinaram coeficientes de correlação de 0,23 e 0,43 para os músculos *Longissimus* e *Semitendinosus*, respectivamente, coeficientes inferiores a quase

todos encontrados no presente trabalho.

Derington et al. (2011) avaliaram o efeito da retirada de amostras de diferentes posições de bifes de *Strip loin* nos resultados da força de cisalhamento medida utilizando os métodos Warner-Bratzler e *Slice Shear Force*. Esses autores determinaram coeficientes de correlação entre as diferentes combinações dos métodos e localidades de retirada de amostras variando entre 0,38 e 0,88, uma faixa de variação nos coeficientes bastante próxima da encontrada na presente tese (0,39 a 0,87).

Belew et al. (2003) avaliaram a força de cisalhamento de 40 músculos bovinos utilizando o método Warner-Bratzler visando estudar os efeitos das diferenças entre os músculos e dentro de cada músculo. Esses autores avaliaram as correlações lineares existentes entre os resultados da força de cisalhamento e observaram que das 800 combinações possíveis entre os músculos, 166 produziram coeficientes de correlação de *Pearson* variando de 0,70 a 0,99, 314 produziram coeficientes variando de 0,50 a 0,69 e 173 produziram correlações variando de 0,30 a 0,49. As demais combinações produziram coeficientes abaixo de 0,30, incluindo 26 negativos. Aqueles autores concluíram que, de maneira geral, há baixa associação entre a maciez instrumental dos diferentes músculos e que, desta forma, é difícil prever a maciez de um determinado músculo com base na maciez de outro.

Apesar de já ser amplamente sabido que há forte correlação entre os parâmetros IFM e comprimento de sarcômeros e a maciez da carne (HWANG et al., 2004; KOOHMARAIE, 1994; RAMOS; GOMIDE, 2009; SHIN et al., 2008; TAYLOR et al., 1995), os resultados encontrados nesta tese elucidam o fato de que a integridade e grau de encurtamento muscular são apenas alguns dos fatores

responsáveis pela maciez da carne, e não devem ser observados isoladamente para predição deste parâmetro de qualidade.

Por exemplo, caso os resultados de IFM obtidos na presente tese (Tabela 3) fossem observados isoladamente para estudo da maciez dos cortes cárneos em questão, o Lagarto seria considerado o mais macio e o Filé mignon o mais duro, quando na prática o que ocorreu foi justamente o oposto. Neste caso pode-se afirmar que o IFM é melhor aproveitado quando utilizado, por exemplo, em estudos de maturação comparando a maciez do mesmo corte ao longo do tempo, e não comparando a maciez entre diferentes cortes cárneos.

Continuando os estudos desta tese, decidiu-se que para as combinações em que foram observados coeficientes de correlação de *Pearson* maiores que 0,80, foram realizadas análises de regressão linear visando obter equações de predição de forças de cisalhamento de uma técnica (combinação entre equipamento / lâmina de cisalhamento e temperatura final de cocção) com base em outra. As equações e gráficos obtidos pelas análises de regressão estão apresentadas na Tabela 18 e Figura 12, respectivamente. Todas as equações foram significativas ao nível de 5 % de probabilidade, e portanto, são capazes de predizer forças de cisalhamento de uma técnica baseada em outra, dentre as técnicas e faixas de trabalho avaliadas.

Tabela 18 – Equações obtidas pelas análises de regressão entre as combinações com maiores coeficientes de correlação de *Pearson*.

N ¹	Equação	N ^o	R ²	Pr > F
60	$Y_{\text{TAXT3 } 70^{\circ}\text{C}} = 0,70 + 0,81_{\text{TAXT3 } 75^{\circ}\text{C}}$	(2)	0,76	<0,0001
60	$Y_{\text{TAXT1 } 70^{\circ}\text{C}} = 0,55 + 0,57_{\text{TAXT3 } 70^{\circ}\text{C}}$	(3)	0,69	<0,0001
60	$Y_{\text{WB } 75^{\circ}\text{C}} = 1,46 + 1,18_{\text{TAXT1 } 75^{\circ}\text{C}}$	(4)	0,65	<0,0001
60	$Y_{\text{WB } 70^{\circ}\text{C}} = 1,19 + 0,73_{\text{WB } 75^{\circ}\text{C}}$	(5)	0,64	<0,0001

¹ Número de unidades experimentais utilizadas. Fonte: Própria autoria.

Figura 12 – Correlações entre forças de cisalhamento obtidas com diferentes equipamentos / lâminas de cisalhamento e temperaturas finais de cocção das amostras.

Fonte: Própria autoria.

Observou-se que a equação para predição de força de cisalhamento utilizando o equipamento TAXT3 e temperatura de 70 °C com base nos resultados do mesmo equipamento com temperatura de 75 °C (Equação 2), foi a melhor dentre as equações obtidas, pois possui o maior coeficiente de determinação ($R^2 = 0,76$). Pode-se considerar portanto, que 76 % dos dados obtidos dentro da faixa utilizada podem ser preditos com segurança utilizando esta equação.

Se qualquer técnica utilizada para determinação de força de cisalhamento de carnes fornecesse resultados iguais aos obtidos com outra técnica, seria de esperar,

num estudo similar, que existissem correlações lineares com coeficientes angulares iguais à unidade. No caso da Equação 2, o coeficiente angular foi de 0,81, ou seja, abaixo da unidade. Sendo assim, pode-se dizer que o aumento da temperatura final de cocção em 5 °C, que neste caso foi a única diferença entre as variáveis, é responsável por um aumento de 19 % nos resultados da força de cisalhamento quando utilizado o equipamento TAXT3.

A equação para predição de força de cisalhamento utilizando o equipamento TAXT1 e temperatura de 70 °C com base nos resultados do equipamento TAXT3 com a mesma temperatura (Equação 3) possui coeficiente de determinação de 0,69, portanto pode-se afirmar que 69 % dos dados obtidos dentro da faixa utilizada podem ser preditos com segurança utilizando esta equação. Já o coeficiente angular desta equação foi de 0,57, ou seja, o aumento na espessura da lâmina de cisalhamento de 1 para 3 mm ocasionou aumento de 43 % nos resultados da força de cisalhamento.

Para predição de força de cisalhamento utilizando o equipamento WB e temperatura de 75 °C com base nos resultados do equipamento TAXT1 com a mesma temperatura, a equação obtida (Equação 4) possui coeficiente de determinação é menor ($R^2 = 0,65$), ou seja, 65 % dos dados obtidos dentro da faixa utilizada podem ser preditos com segurança utilizando esta equação. Assim como no caso da Equação 2, esta também possui coeficiente angular próximo à unidade (1,18), portanto é possível afirmar que as diferenças no modo de trabalho dos equipamentos e pequenas diferenças no formato das lâminas provocaram diferenças de 18 % nos resultados da força de cisalhamento.

Já a equação para predição de força de cisalhamento utilizando o equipamento WB e temperatura de 70 °C com base nos resultados do mesmo

equipamento com a temperatura de 75 °C (Equação 5), possui coeficiente de determinação levemente menor do que a Equação 4 ($R^2 = 0,64$), neste caso 64 % dos dados obtidos dentro da faixa utilizada podem ser preditos com segurança utilizando esta equação. O coeficiente angular foi de 0,73, portanto pode-se considerar que o aumento da temperatura final de cocção em 5 °C, que neste caso foi a única diferença entre as variáveis, é responsável por um aumento de 27 % nos resultados da força de cisalhamento quando utilizado o equipamento WB.

Arantes-Pereira et al. (2016), de maneira bastante similar ao presente trabalho, estudaram a reprodutibilidade e correlações entre resultados de testes de determinação da força de cisalhamento utilizando o equipamento Warner-Bratzler clássico e um texturômetro equipado com lâminas de 1 e 3 mm de espessura. No caso da correlação entre os resultados obtidos com a lâmina de 1 mm de espessura e aqueles obtidos com o Warner-Bratzler clássico, esses autores obtiveram equação significativa com coeficiente de determinação de 0,47 e coeficiente angular de 0,80. Já no caso da correlação entre a lâmina de 3 mm de espessura e o Warner-Bratzler clássico, a equação também foi significativa porém com coeficiente de determinação maior ($R^2 = 0,57$) e coeficiente angular menor (0,49). A correlação entre os resultados obtidos com o texturômetro e as duas diferentes lâminas não foi significativa.

5.4 Comportamento mecânico e estrutural dos cortes cárneos submetidos a diferentes temperaturas finais de cocção durante testes de cisalhamento utilizando diferentes equipamentos e lâminas

Objetivando estudar o comportamento dos cortes cárneos durante os testes de determinação da força de cisalhamento foram realizadas micrografias das

superfícies cisalhadas das amostras e registradas as curvas mecânicas geradas durante os testes, de acordo com Arantes-Pereira, Vargas e Sobral (2016).

Observou-se que, de maneira geral, com o aumento da temperatura final de cocção, o formato das fibras musculares do Contrafilé (Figura 13) tornou-se mais nítido e melhor definido, o que provavelmente foi devido à diminuição da umidade e consequente enrijecimento das fibras.

Figura 13 – Comportamento estrutural de Contrafilé (*Longissimus dorsi*) durante a realização de testes de determinação da força de cisalhamento utilizando diferentes equipamentos e submetido a diferentes temperaturas finais de cocção.

Texturômetro com lâmina de 1 mm (TAXT1): **a)** 65 °C; **b)** 70 °C; **c)** 75 °C; Texturômetro com lâmina de 3 mm (TAXT3): **d)** 65 °C; **e)** 70 °C; **f)** 75 °C; Warner-Bratzler: **g)** 65 °C; **h)** 70 °C; **i)** 75 °C. Fonte: Própria autoria.

Além do formato das fibras musculares, a maior temperatura final de cocção (75 °C) ocasionou a maior ocorrência de fibras comprimidas formando aglomerados, o que por sua vez sugere maior força para o rompimento da amostra (ARANTES-PEREIRA; VARGAS; SOBRAL, 2016), fato que corrobora com os maiores valores de força de cisalhamento observados nos equipamentos TAXT3 e Warner-Bratzler (Tabela 15).

De maneira geral, o comportamento estrutural das amostras no equipamento TAXT1 foi diferente do observado nos demais equipamentos. Observou-se nas micrografias das amostras cisalhadas no equipamento TAXT1, uma menor desorganização das fibras enquanto que nas amostras cisalhadas nos demais equipamentos houve maior deslocamento das mesmas, aparentemente causada por rompimento mais brusco e com uso de maior força. Estas observações também corroboram com os resultados apresentados na Tabela 15, pois os resultados do equipamento TAXT1 foram estatisticamente menores ($p < 0,05$) que aqueles dos demais equipamentos.

Por meio das curvas mecânicas de força x distância produzidas durante os testes de cisalhamento no Texturômetro com as lâminas de 1 e 3 mm, foi possível observar que a utilização das diferentes lâminas provocou maior efeito na altura do que no formato das curvas do Contrafilé (Figura 14), o que por sua vez está de acordo com as diferenças no comportamento estrutural das amostras cisalhadas com as lâminas de 1 e 3 mm (Figura 13). Em todos os equipamentos e temperaturas utilizados foram observados picos máximos de força bem definidos próximos aos 10 mm de distância percorrida pelas lâminas, com poucas exceções em que os picos máximos foram discretos.

Figura 14 – Comportamento mecânico de Contrafilé (*Longissimus dorsi*) durante a realização de testes de determinação da força de cisalhamento utilizando diferentes equipamentos e submetido a diferentes temperaturas finais de cocção.

Texturômetro com lâmina de 1 mm (TAXT1): **a)** 65 °C; **b)** 70 °C; **c)** 75 °C; Texturômetro com lâmina de 3 mm (TAXT3): **d)** 65 °C; **e)** 70 °C; **f)** 75 °C. Fonte: Própria autoria.

Corroborando com o comportamento estrutural, observado na Figura 13, em ambos os equipamentos (TAXT1 e TAXT3) o aumento da temperatura produziu aumento na altura das curvas, o que consequentemente significa aumento nas forças de cisalhamento. Este aumento foi mais evidente no equipamento TAXT3, o que também foi observado nos resultados de força de cisalhamento apresentados

na Tabela 15 com diferença significativa ($p < 0,05$) entre os resultados provenientes das temperaturas de 65 e 75 °C no equipamento TAXT3.

Da mesma forma, como observado no Contrafilé, o comportamento estrutural do Lagarto com o uso do equipamento TAXT1 foi diferente dos demais, com menor desorganização das fibras musculares (fibras deslocadas da posição original) e rompimento mais regular (relevo das superfícies cisalhadas) (Figura 15).

Figura 15 – Comportamento estrutural de Lagarto (*Semitendinosus*) durante a realização de testes de determinação da força de cisalhamento utilizando diferentes equipamentos e submetido a diferentes temperaturas finais de cocção.

Texturômetro com lâmina de 1 mm (TAXT1): **a)** 65 °C; **b)** 70 °C; **c)** 75 °C; Texturômetro com lâmina de 3 mm (TAXT3): **d)** 65 °C; **e)** 70 °C; **f)** 75 °C; Warner-Bratzler: **g)** 65 °C; **h)** 70 °C; **i)** 75 °C. Fonte: Própria autoria.

O aumento da temperatura final de cocção também afetou o formato das fibras musculares, que por sua vez foi mais nítido e melhor definido e ocasionou ainda maior incidência de fibras comprimidas formando aglomerados.

Estas observações corroboram com os resultados dos testes de determinação da força de cisalhamento deste corte apresentados na Tabela 15, pois os resultados do equipamento TAXT1 foram significativamente menores ($p < 0,05$) que os demais e ainda no caso do Warner-Bratzler o aumento da temperatura final de cocção acarretou em aumento significativo da força de cisalhamento.

O equipamento TAXT1 provocou a incidência de curvas mais abertas com o aparecimento de diversos picos entre 5 e 10 mm de distância nas curvas mecânicas do Lagarto (Figura 16). Por outro lado, foram produzidas curvas mais fechadas e com o aparecimento de picos máximos de força mais evidentes quando utilizado o equipamento TAXT3. Este comportamento corrobora com a maior incidência de fibras comprimidas formando aglomerados observada com o aumento da temperatura (Figura 15), pois as fibras aglomeradas requerem maior força para o cisalhamento, o que por sua vez provoca picos de força máxima mais evidentes como ocorreram nas curvas do equipamento TAXT3.

O aumento da temperatura não provocou grandes diferenças na altura das curvas em cada equipamento. Este comportamento também pôde ser evidenciado nos resultados das forças de cisalhamento (Tabela 15), pois não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre os resultados obtidos com a utilização das três temperaturas nos equipamentos TAXT1 e TAXT3.

Figura 16 – Comportamento mecânico de Lagarto (*Semitendinosus*) durante a realização de testes de determinação da força de cisalhamento utilizando diferentes equipamentos e submetido a diferentes temperaturas finais de cocção.

Texturômetro com lâmina de 1 mm (TAXT1): **a)** 65 °C; **b)** 70 °C; **c)** 75 °C; Texturômetro com lâmina de 3 mm (TAXT3): **d)** 65 °C; **e)** 70 °C; **f)** 75 °C. Fonte: Própria autoria.

O comportamento estrutural do Filé mignon durante a realização do testes de determinação da força de cisalhamento está apresentado na Figura 17. Neste corte não foram observados efeitos do aumento da temperatura final de cocção no comportamento das amostras em cada equipamento utilizado, o que está de acordo com os dados observados na Tabela 15, pois não houve diferença significativa

($p > 0,05$) entre as forças de cisalhamento obtidas com as diferentes temperaturas em cada equipamento.

Figura 17 – Comportamento estrutural de Filé mignon (*Psoas major*) durante a realização de testes de determinação da força de cisalhamento utilizando diferentes equipamentos e submetido a diferentes temperaturas finais de cocção.

Texturômetro com lâmina de 1 mm (TAXT1): **a)** 65 °C; **b)** 70 °C; **c)** 75 °C; Texturômetro com lâmina de 3 mm (TAXT3): **d)** 65 °C; **e)** 70 °C; **f)** 75 °C; Warner-Bratzler: **g)** 65 °C; **h)** 70 °C; **i)** 75 °C. Fonte: Própria autoria.

Conforme observado nos cortes citados anteriormente, a microestrutura das amostras cisalhadas utilizando-se o equipamento TAXT1 foi diferente das demais. Observou-se que no caso do equipamento TAXT1, em todas as temperaturas, a microestrutura foi de fibras aglomeradas porém com aspecto diferente daquele observado nos cortes anteriores em que a aglomeração das fibras sugeriu forte

compressão para rompimento das amostras, provavelmente devido a diferenças intrínsecas da estrutura deste corte em relação aos demais.

Já nos equipamentos TAXT3 e Warner-Bratzler, os comportamentos estruturais do Filé mignon sugeriram maior compressão das amostras devido às superfícies das fibras estarem mais bem definidas e com maior incidência de espaços vazios, o que representou maior desorganização da estrutura original das amostras. Estes comportamentos estão de acordo com os resultados das forças de cisalhamento (Tabela 15), onde o equipamento TAXT1 ocasionou valores significativamente menores que os dos demais equipamentos.

De maneira similar ao ocorrido no Contrafilé, a utilização das diferentes lâminas provocou maior efeito na altura do que no formato das curvas (Figura 18). Com exceção do equipamento TAXT1 na temperatura de 65 °C (Figura 18 a), nas curvas de todos os demais equipamentos e temperaturas foram observados picos máximos de força bem definidos próximos aos 10 mm de distância.

Figura 18 – Comportamento mecânico de Filé mignon (*Psoas major*) durante a realização de testes de determinação da força de cisalhamento utilizando diferentes equipamentos e submetido a diferentes temperaturas finais de cocção.

Texturômetro com lâmina de 1 mm (TAXT1): **a)** 65 °C; **b)** 70 °C; **c)** 75 °C; Texturômetro com lâmina de 3 mm (TAXT3): **d)** 65 °C; **e)** 70 °C; **f)** 75 °C. Fonte: Própria autoria.

O comportamento estrutural do corte Picanha durante a realização dos testes de determinação da força de cisalhamento está apresentado na Figura 19. De maneira similar ao observado no Filé mignon (Figura 17), não foram observados grandes efeitos do aumento da temperatura final de cocção no comportamento das amostras em cada equipamento utilizado, o que está de acordo com os dados

observados na Tabela 15, pois não houve diferença significativa ($p>0,05$) entre os resultados determinados nas diferentes temperaturas em cada equipamento.

Figura 19 – Comportamento estrutural de Picanha (*Biceps femoris*) durante a realização de testes de determinação da força de cisalhamento utilizando diferentes equipamentos e submetido a diferentes temperaturas finais de cocção.

Texturômetro com lâmina de 1 mm (TAXT1): **a)** 65 °C; **b)** 70 °C; **c)** 75 °C; Texturômetro com lâmina de 3 mm (TAXT3): **d)** 65 °C; **e)** 70 °C; **f)** 75 °C; Warner-Bratzler: **g)** 65 °C; **h)** 70 °C; **i)** 75 °C. Fonte: Própria autoria.

Observou-se maior aglomeração das fibras com aumento da temperatura final de cocção, porém no equipamento TAXT1 esta aglomeração ocorreu acompanhada de superfície com relevo extremamente regular, o que sugeriu a ocorrência do princípio de corte ao invés de cisalhamento. Já no equipamento TAXT3 a aglomeração das fibras ocorreu acompanhada de superfície com relevo irregular,

que por sua vez está mais relacionada à ocorrência do princípio do cisalhamento e/ou tracionamento (ARANTES-PEREIRA; VARGAS; SOBRAL, 2016).

A utilização das diferentes temperaturas provocou a ocorrência de curvas mecânicas com diferentes formatos no equipamento TAXT1 (Figura 20) durante os testes de cisalhamento. Na temperatura de 65 °C (Figura 20 a), as curvas foram mais abertas, com pouca incidência de picos máximos de força bem definidos, o que é indicativo de que não houve forte compressão para rompimento das amostras. Este fato está evidenciado no comportamento estrutural do corte Picanha (Figura 19 a), pois na micrografia não foram observados aglomerados de fibras, sendo possível ainda, observar o sentido no qual as fibras foram rompidas.

Ainda sobre o equipamento TAXT1, na temperatura de 70 °C (Figura 20 b), foi possível observar a ocorrência de picos máximos de força bem definidos e mais no início das curvas enquanto que na temperatura de 75 °C (Figura 20 c) estes picos ocorreram mais no final das curvas. Este comportamento indica que quanto maior a temperatura final de cocção, maior foi a compressão da amostra para o posterior rompimento das amostras e também pôde ser evidenciado na Figura 19.

Já no equipamento TAXT3 foi observado comportamento mecânico bastante similar dos testes realizados com as três temperaturas. Em todos os casos foram observados picos máximos de força bem definidos ocorrendo próximos à metade do teste (10 mm de distância). Este comportamento indica que quando utilizado o equipamento TAXT3, o aumento da temperatura final de cocção dentro da faixa de 60 a 65 °C não provocou efeito nas forças de cisalhamento do corte Picanha.

Em ambos os equipamentos, os comportamentos mecânicos observados no corte Picanha corroboram com os resultados de força de cisalhamento (Tabela 15),

pois não houve diferença significativa ($p>0,05$) entre as forças obtidas com as diferentes temperaturas em cada equipamento.

Figura 20 – Comportamento mecânico de Picanha (*Biceps femoris*) durante a realização de testes de determinação da força de cisalhamento utilizando diferentes equipamentos e submetido a diferentes temperaturas finais de cocção.

Texturômetro com lâmina de 1 mm (TAXT1): **a)** 65 °C; **b)** 70 °C; **c)** 75 °C; Texturômetro com lâmina de 3 mm (TAXT3): **d)** 65 °C; **e)** 70 °C; **f)** 75 °C. Fonte: Própria autoria.

Foi possível observar que o aumento da temperatura final de cocção de 65 para 75 °C ocasionou algumas diferenças no comportamento estrutural do Coxão

duro nos três equipamentos (Figura 21). De maneira geral, a maior temperatura ocasionou rompimento mais brusco das fibras, observados pela maior aglomeração das fibras, relevo irregular e maior desorganização da estrutura. Na temperatura intermediária (70 °C), foram observadas semelhanças entre as outras temperaturas, o que corrobora com os resultados da força de cisalhamento (Tabela 15), pois houve diferença apenas entre os resultados obtidos com as temperaturas extremas (65 e 75 °C).

Figura 21 – Comportamento estrutural de Coxão duro (*Gastrocnemius*) durante a realização de testes de determinação da força de cisalhamento utilizando diferentes equipamentos e submetido a diferentes temperaturas finais de cocção.

Texturômetro com lâmina de 1 mm (TAXT1): **a)** 65 °C; **b)** 70 °C; **c)** 75 °C; Texturômetro com lâmina de 3 mm (TAXT3): **d)** 65 °C; **e)** 70 °C; **f)** 75 °C; Warner-Bratzler: **g)** 65 °C; **h)** 70 °C; **i)** 75 °C. Fonte: Própria autoria.

De maneira geral, os comportamentos estruturais do Coxão duro foram mais distintos entre os equipamentos TAXT1 e Warner-Bratzler, principalmente nas temperaturas de 70 e 75 °C. O equipamento Warner-Bratzler parece ter causado rompimento mais brusco das amostras quando comparado ao causado pelo TAXT1. Na temperatura de 75 °C, o uso do equipamento TAXT1 aparentemente predominou a ocorrência do princípio de corte ao invés do cisalhamento. Estas observações estão de acordo com os resultados da força de cisalhamento onde, de maneira geral, o equipamento TAXT1 foi estatisticamente diferente ($p < 0,05$) do Warner-Bratzler, enquanto o equipamento TAXT3 não se diferiu dos demais nas temperaturas de 70 e 75 °C.

Para o Coxão duro, a utilização de diferentes equipamentos e temperaturas provocou a ocorrência de diferentes comportamentos mecânicos (Figura 22). Na temperatura de 65 °C (Figura 22 a), as curvas foram mais abertas, com pouca incidência de picos máximos de força bem definidos, o que é indicativo de que não houve forte compressão para rompimento das amostras, enquanto foi possível observar a ocorrência de picos máximos de força bem definidos mais no início e mais no final das curvas quando utilizadas as temperaturas de 70 e 75 °C, respectivamente.

No equipamento TAXT3, a temperatura de 65 °C provocou a ocorrência de curvas abertas porém com a incidência de maior número de picos ao longo dos testes, enquanto que na utilização das temperaturas de 70 e 75 °C ocorreram picos máximos de força mais bem definidos no início dos testes (antes de 10 mm de distância), diferentemente do observado nas curvas provenientes do equipamento TAXT1 (Figura 22 c).

Figura 22 – Comportamento mecânico de Coxão duro (*Gastrocnemius*) durante a realização de testes de determinação da força de cisalhamento utilizando diferentes equipamentos e submetido a diferentes temperaturas finais de cocção.

Texturômetro com lâmina de 1 mm (TAXT1): **a)** 65 °C; **b)** 70 °C; **c)** 75 °C; Texturômetro com lâmina de 3 mm (TAXT3): **d)** 65 °C; **e)** 70 °C; **f)** 75 °C. Fonte: Própria autoria.

Comparando os efeitos dos equipamentos em cada temperatura, observou-se que em todos os cortes cárneos, o equipamento TAXT3 produziu curvas mais altas, ou seja, maiores forças de cisalhamento, corroborando com os resultados apresentados na Tabela 15, que em todas as temperaturas o equipamento TAXT3 provocou forças de cisalhamento significativamente maiores ($p < 0,05$).

Estes comportamentos mecânicos e estruturais, também corroboraram com os resultados da estatística descritiva resumidos na Tabela 14 em que as técnicas utilizando o equipamento TAXT3 causaram maior variabilidade nos resultados de quase todos os cortes e na maioria dos casos foram as que causaram maior desorganização na estrutura das amostras. Observou-se que na maioria dos casos, as técnicas que ocasionaram estrutura mais lisa e organizada nas superfícies cisalhadas e curvas mais abertas foram as que produziram menor variabilidade nos resultados, o que por sua vez não representa uma grande vantagem, uma vez que a estrutura lisa e organizada é um forte indicativo de ocorrência do princípio de corte ao invés de cisalhamento.

O estudo do comportamento de cortes cárneos durante testes de determinação da força de cisalhamento por meio de micrografias das superfícies cisalhadas das amostras e das curvas mecânicas geradas durante os testes foi recentemente abordado por Arantes-Pereira, Vargas e Sobral (2016), não sendo encontradas ainda outras pesquisas deste tipo na literatura. Sendo assim, não foi possível a comparação dos resultados desta tese com outros resultados da literatura.

No trabalho publicado por Arantes-Pereira, Vargas e Sobral (2016), os autores utilizaram apenas o Texturômetro equipado com a lâmina de 1 mm e a temperatura final de cocção de 70 °C e avaliaram os comportamentos dos cortes Contrafilé, Maminha, Lagarto, Filé mignon e Picanha bovinos e ainda do Lombo suíno.

No comportamento do Contrafilé aqueles autores observaram microestrutura mais desorganizada do que a observada na presente tese e curvas com picos máximos de força ocorrendo mais na segunda metade do teste, também diferente do

observado nesta tese. No Lagarto, tanto a microestrutura das superfícies cisalhadas quanto as curvas mecânicas foram bastante similares às observadas nesta tese. A superfície cisalhada do Filé mignon observada por aqueles autores foi de fibras menos aglomeradas do que a observada na presente tese, enquanto que o formato das curvas foi bastante semelhante com picos máximos de força ocorrendo no início do teste, porém a altura das curvas obtidas pelos autores foi maior, o que significa maior força de cisalhamento. Já no comportamento do corte Picanha, foram observadas microestrutura e curvas bastante similares às obtidas por aqueles autores, porém da mesma forma como no Filé mignon, a altura das curvas obtidas por aqueles autores foi maior.

Estas diferenças podem ser devido à procedência das amostras que por sua vez está relacionada à raça, idade, sexo, alimentação, manejo, dentre outros fatores inerentes aos animais e ainda nos equipamentos utilizado para a cocção e monitoramento de temperatura das amostras, que foram diferentes. Vale destacar que os equipamentos utilizados nesta tese foram mais apropriados para este tipo de estudo do que os utilizados por Arantes-Pereira, Vargas e Sobral (2016).

CONCLUSÕES

Parâmetros de qualidade de carnes como o Índice de Fragmentação Miofibrilar, o Comprimento dos Sarcômeros e a composição química são frequentemente correlacionados com a maciez, porém nesta tese foram observadas baixas correlação entre estes parâmetros e a maciez dos cortes em estudo, comprovando que a maciez é um parâmetro bastante complexo de ser explicado e/ou predito per meio de outros parâmetros de qualidade. Também ficou comprovado que estes parâmetros são melhor aproveitados em estudos envolvendo um único corte cárneo ao invés daqueles envolvendo diversos cortes.

A composição química e a capacidade de retenção de água, indiretamente medida pelas perdas de peso por cocção, na maioria dos casos foram dependentes do corte avaliado e da temperatura final de cocção utilizada. Sendo assim, a padronização do ponto de cocção de carnes por meio de uma única temperatura é errônea e no caso de métodos analíticos, como por exemplo na determinação da força de cisalhamento, pode ser uma fonte de variação ou erro.

Nas condições experimentais utilizadas na presente tese, qualquer tempo de resfriamento das amostras entre 4 e 24 horas não interfere de maneira significativa nos resultados da força de cisalhamento. Isso é de grande importância, pois indica uma grande economia de tempo na realização destes testes.

Para a maioria dos cortes cárneos avaliados, os equipamentos com lâmina de 1 mm provocaram maior precisão nos resultados, ou seja, houve menor variabilidade dos dados. O Texturômetro com lâmina de 1 mm produziu valores mais baixos, enquanto que o Warner-Bratzler provocou maiores valores de força de cisalhamento. O Texturômetro com lâmina de 1 mm pode ser considerado menos

sensível para detectar diferenças entre amostras pois produziu menor diferença entre os resultados dos diferentes cortes cárneos do que os demais equipamentos.

A temperatura de 65 °C ocasionou os menores valores de força de cisalhamento, enquanto que a temperatura de 75 °C ocasionou os maiores valores. Os tratamentos utilizando temperatura final de cocção de 75 °C foram os mais eficientes quanto à sensibilidade para detectar diferenças entre amostras.

Apenas quatro das 36 combinações possíveis entre os resultados dos testes de determinação da força de cisalhamento testados, obtiveram correlações consideradas fortes: Texturômetro com lâmina de 3 mm nas temperaturas de 70 e 75 °C; Texturômetro com lâmina de 1 e 3 mm na temperatura de 70 °C; Warner-Bratzler e Texturômetro com lâmina de 1 mm na temperatura de 75 °C e Warner-Bratzler nas temperaturas de 70 e 75 °C. As equações obtidas para estas associações foram significativas e explicam pelo menos 64 % dos dados obtidos dentro da faixa de trabalho avaliada.

Os equipamentos e temperaturas finais de cocção utilizados provocaram diferentes comportamentos mecânicos e estruturais nos cortes cárneos avaliados, sendo que, o Texturômetro com lâmina de 1 mm produz menor variação nos resultados porém ao mesmo tempo provoca corte ao invés de cisalhamento nas amostras. Nas condições experimentais utilizadas, os demais equipamentos provocaram o princípio de cisalhamento com maior frequência.

Por fim, conclui-se que a utilização de diferentes equipamentos e pequenas variações na temperatura final de cocção das amostras pode ser uma grande fonte de variação nos resultados de testes de determinação da força de cisalhamento de carnes e comparações entre resultados devem ser feitas com cautela observando estes detalhes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, D. D.; DE GOES, R. H. DE T. E B.; MANCIO, A. B. Maciez da carne bovina. **Ciência Animal Brasileira**, v. 6, n. 3, p. 135–149, 2005.
- ALVES, D. D.; MANCIO, A. B. Maciez da carne bovina - Uma revisão. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, v. 14, n. 1, p. 193–216, 2007.
- AMSA. **Research Guidelines for Cookery, Sensory Evaluation and Instrumental Tenderness Measurements of Fresh Meat**. 2. ed. Champaign, Illinois: American Meat Science Association, 2015.
- ANDRIGHETTO, C. et al. Características físico-químicas e sensoriais da carne de bubalinos Murrah abatidos em diferentes períodos de confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 12, p. 2179–2184, dez. 2008.
- ARANTES-PEREIRA, L. et al. Reproducibility and correlation between meat shear force measurements by Warner-Bratzler machine and a texturometer. **International Journal of Food Studies**, v. 5, n. 2, p. 193–202, 18 out. 2016.
- ARANTES-PEREIRA, L.; VARGAS, F. C.; SOBRAL, P. J. DO A. Comportamento mecânico e estrutural de diferentes cortes cárneos em teste de determinação da força de cisalhamento. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 19, p. e2015076, 2016.
- BAUBLITS, R. T. et al. Impact of muscle type and sodium chloride concentration on the quality, sensory, and instrumental color characteristics of solution enhanced whole-muscle beef. **Meat Science**, v. 72, n. 4, p. 704–12, abr. 2006.
- BELEW, J. B. et al. Warner-Bratzler shear evaluations of 40 bovine muscles. **Meat Science**, v. 64, n. 4, p. 507–12, ago. 2003.
- BOLEMAN, S.; BOLEMAN, S. Consumer evaluation of beef of known categories of tenderness. **Journal of Animal Science**, v. 75, n. 6, p. 1521–1524, 1997.
- BOURNE, M. C. **Food texture and viscosity: concept and measurement**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 2002.
- CAMPION, D. R.; CROUSE, J. D.; DIKEMAN, M. E. Predictive value of USDA beef quality grade factors for cooked meat palatability. **Journal of Food Science**, v. 40, n. 6, p. 1225–1228, nov. 1975.
- CAVITT, L. C. et al. The relationship of razor blade shear, allo-kramer shear, warner-bratzler shear and sensory tests to changes in tenderness of broiler breast fillets. **Journal of Muscle Foods**, v. 16, n. 3, p. 223–242, jul. 2005.
- CHAIB, M. A. **Métodos de avaliação de textura da carne**. [s.l.] Universidade Estadual de Campinas, 1973.
- CULLER, R. D. et al. Relationship of myofibril fragmentation index to certain

chemical, physical and sensory characteristics of bovine Longissimus muscle. **Journal of Food Science**, v. 43, n. 4, p. 1177–1180, jul. 1978.

DAVEY, C. L.; GILBERT, K. V. Temperature-dependent cooking toughness in beef. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 25, n. 8, p. 931–938, ago. 1974.

DE HUIDOBRO, F. R. 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, mar. 2005.

DERINGTON, A. J. et al. Relationships of slice shear force and Warner-Bratzler shear force of beef strip loin steaks as related to the tenderness gradient of the strip loin. **Meat Science**, v. 88, n. 1, p. 203–208, maio 2011.

FERNANDES, J. M. P. F. G. et al. Encurtamento pelo frio de fibras musculares oxidativas de bovinos pela técnica de NADH-TR. **Ciência Rural**, v. 36, n. 6, p. 1878–1882, dez. 2006.

FRYLINCK, L. et al. Effect of South African beef production systems on post-mortem muscle energy status and meat quality. **Meat Science**, v. 93, n. 4, p. 827–837, abr. 2013.

FURUKAWA, V. A. et al. Análise térmica da carne de coelhos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 2, p. 265–269, jun. 2004.

GARCÍA-SEGOVIA, P.; ANDRÉS-BELLO, A.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J. Effect of cooking method on mechanical properties, color and structure of beef muscle (M. pectoralis). **Journal of Food Engineering**, v. 80, n. 3, p. 813–821, jun. 2007.

GIRARD, I. et al. Contribution of myofibrillar and connective tissue components to the Warner-Bratzler shear force of cooked beef. **Meat Science**, v. 92, n. 4, p. 775–782, dez. 2012.

GOLL, D. E. et al. Role of the calpain system in muscle growth. **Biochimie**, v. 74, n. 3, p. 225–237, mar. 1992.

HAMM, R. Modificaciones en la carne vacuna luego de la faena y sus consecuencias sobre La capacidad de retención de água. **Fleischwirtschaft**, v. 1, n. 1, p. 42–48, 1983.

HERTZMAN, C.; OLSSON, U.; TORNBERG, E. The influence of high temperature, type of muscle and electrical stimulation on the course of rigor, ageing and tenderness of beef muscles. **Meat Science**, v. 35, n. 1, p. 119–141, jan. 1993.

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

HOPKINS, D. L. et al. Explaining the variation in the shear force of lamb meat using sarcomere length, the rate of rigor onset and pH. **Meat Science**, v. 88, n. 4, p. 794–

796, ago. 2011.

HOPKINS, D. L.; THOMPSON, J. M. The relationship between tenderness, proteolysis, muscle contraction and dissociation of actomyosin. **Meat Science**, v. 57, n. 1, p. 1–12, jan. 2001.

HWANG, I. H. et al. Effects of muscle shortening and proteolysis on Warner-Bratzler shear force in beef longissimus and semitendinosus. **Meat Science**, v. 68, n. 3, p. 497–505, nov. 2004.

HWANG, Y.-H. et al. The relationship between muscle fiber characteristics and meat quality traits of highly marbled Hanwoo (Korean native cattle) steers. **Meat Science**, v. 86, n. 2, p. 456–461, out. 2010.

JACKMAN, P. et al. Correlation of consumer assessment of longissimus dorsi beef palatability with image colour, marbling and surface texture features. **Meat Science**, v. 84, n. 3, p. 564–568, mar. 2010.

JONES, B. K.; TATUM, J. D. Predictors of beef tenderness among carcasses produced under commercial conditions. **Journal of Animal Science**, v. 72, n. 6, p. 1492–1501, jun. 1994.

KERTH, C. R.; BLAIR-KERTH, L. K.; JONES, W. R. Warner-Bratzler Shear Force Repeatability in Beef Longissimus Steaks Cooked With a Convection Oven, Broiler, or Clam-shell Grill. **Journal of Food Science**, v. 68, n. 2, p. 668–669, mar. 2003.

KHLIJJ, S. et al. Relationship between consumer ranking of lamb colour and objective measures of colour. **Meat Science**, v. 85, n. 2, p. 224–229, jun. 2010.

KOOHMARAIE, M. **Role of the neutral proteinases in postmortem muscle protein degradation and meat tenderness**. Proceedigs of the 45th Reciprocal Meat Conference. **Anais...**Knoxville: American Meat Science Association, 1992

KOOHMARAIE, M. Muscle proteinases and meat aging. **Meat Science**, v. 36, n. 1–2, p. 93–104, jan. 1994.

LAWRENCE, T. . et al. Evaluation of electric belt grill, forced-air convection oven, and electric broiler cookery methods for beef tenderness research. **Meat Science**, v. 58, n. 3, p. 239–246, jul. 2001.

LAWRIE, R. A. **Lawrie's Meat Science**. 7. ed. Cambridge, England: Boca Raton: CRC Press, 2006.

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

LI, C. et al. Effect of final cooked temperature on tenderness, protein solubility and microstructure of duck breast muscle. **LWT - Food Science and Technology**, v. 51, p. 266–274, 2013.

LMBG. Untersuchung von lebensmitteln - Bestimmung des Hydroxyprolin Gehaltes (L06.00-4). In: **Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach §35.**, Berlin: Beuth Verlag, 1980.

LOCKER, R. H.; HAGYARD, C. J. A cold shortening effect in beef muscles. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 14, n. 11, p. 787–793, nov. 1963.

LORENZEN, C. L. et al. Efficacy of performing Warner-Bratzler and slice shear force on the same beef steak following rapid cooking. **Meat Science**, v. 85, n. 4, p. 792–794, ago. 2010.

LORENZO, J. M.; PATEIRO, M.; FRANCO, D. Influence of muscle type on physicochemical and sensory properties of foal meat. **Meat Science**, v. 94, n. 1, p. 77–83, maio 2013.

LU, R.; CHEN, Y.-R. Shear properties and warner-bratzler tenderness measurement of beef. **Journal of Texture Studies**, v. 30, n. 4, p. 361–375, 1999.

MARINO, R. et al. Proteolytic pattern of myofibrillar protein and meat tenderness as affected by breed and aging time. **Meat Science**, v. 95, n. 2, p. 281–287, out. 2013.

MARSH, B. B.; LEET, N. G. Studies in Meat Tenderness. III. The Effects of Cold Shortening on Tenderness. **Journal of Food Science**, v. 31, n. 3, p. 450–459, maio 1966.

MCKEITH, F. K. et al. Physical, chemical, histological and palatability characteristics of muscles from three breed-types of cattle at different times-on-feed. **Meat Science**, v. 15, n. 1, p. 37–50, jan. 1985.

MCKENNA, D. R.; KING, D. A.; SAVELL, J. W. Comparison of clam-shell cookers and electric broilers and their effects on cooking traits and repeatability of Warner-Bratzler shear force values. **Meat Science**, v. 66, n. 1, p. 225–229, jan. 2004.

MORAES, M. S. DE. **Maturação da carne bovina**. 2004. 31 f. Monografia (Especialização) - Centro de Excelência em Turismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

OBUZ, E. et al. Beef longissimus lumborum, biceps femoris, and deep pectoralis Warner-Bratzler shear force is affected differently by endpoint temperature, cooking method, and USDA quality grade. **Meat Science**, v. 68, n. 2, p. 243–248, out. 2004.

OLSON, D. G.; PARRISH JR, F. C. Relationship of myofibril fragmentation index to measures of beefsteak tenderness. **Journal of Food Science**, v. 42, n. 2, p. 506–509, mar. 1977.

OLSON, D. G.; PARRISH JR, F. C.; STROMER, M. H. Myofibril fragmentation and shear resistance of three bovine muscles during postmortem storage. **Journal of Food Science**, v. 41, n. 5, p. 1036–1041, set. 1976.

OTREMBA, M. M. et al. Interrelationships among evaluations of beef longissimus and semitendinosus muscle tenderness by Warner-Bratzler shear force, a

descriptive-texture profile sensory panel, and a descriptive attribute sensory panel. **Journal of Animal Science**, v. 77, n. 4, p. 865–873, abr. 1999.

PALKA, K.; DAUN, H. Changes in texture, cooking losses, and myofibrillar structure of bovine M. semitendinosus during heating. **Meat Science**, v. 51, n. 3, p. 237–243, mar. 1999.

PARDI, M. C. **Ciência, Higiene e Tecnologia da Carne - Vol. 1**. 2. ed. Goiânia GO: Editora UFG, 2006.

PARRISH, F. C. et al. Effect of postmortem conditions on certain chemical, morphological and organoleptic properties of bovine muscle. **Journal of Food Science**, v. 38, n. 4, p. 690–695, maio 1973.

PEDRÃO, M. R. et al. Comparison of proximate chemical composition and texture of cupim, Rhomboideus m. and lombo, Longissimus dorsi m. of Nelore (*Bos indicus*). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 52, n. 3, p. 715–720, jun. 2009.

PEREIRA, A. S. C. **Qualidade da carne de bovinos Nelore (*Bos taurus indicus*) suplementados com vitamina E**. 2002. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga 2002.

PINTO, M. F.; PONSANO, E. H. G.; ALMEIDA, A. P. DA S. Espessura da lâmina de cisalhamento na avaliação instrumental da textura da carne. **Ciência Rural**, v. 40, n. 6, p. 1405–1410, jun. 2010.

POWELL, T. H.; HUNT, M. C.; DIKEMAN, M. E. Enzymatic assay to determine collagen thermal denaturation and solubilization. **Meat Science**, v. 54, n. 4, p. 307–311, abr. 2000.

PRADO, C. S. **Influência do método de resfriamento de carcaças bovinas nas variações de peso e nas medidas físico-químicas, sensoriais e microbiológicas do contrafilé (m. Longissimus dorsi)**. 2005. 147 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas 2005.

PRADO, C. S.; FELÍCIO, P. E. DE. Effects of chilling rate and spray-chilling on weight loss and tenderness in beef strip loin steaks. **Meat Science**, v. 86, n. 2, p. 430–435, out. 2010.

RAMOS, E. M.; GOMIDE, L. A. DE M. **Avaliação na qualidade de carnes - Fundamentos e metodologias**. 1. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2009.

REUTER, B. J. et al. Evaluating the point of separation, during carcass fabrication, between the beef wholesale rib and the beef wholesale chuck. **Journal of Animal Science**, v. 80, n. 1, p. 101–107, 2002.

RHEE, M. S. et al. Variation in palatability and biochemical traits within and among eleven beef muscles. **Journal of Animal Science**, v. 82, n. 2, p. 534–550, fev. 2004.

ROSSATO, L. V. et al. Parâmetros físico-químicos e perfil de ácidos graxos da carne

de bovinos Angus e Nelore terminados em pastagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 5, p. 1127–1134, maio 2010.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT 9.1 User's Guide**. Cary: SAS Institute, 2004.

SGARBIERI, V. C. **Proteínas em alimentos proteicos : propriedades, degradacoes, modificacoes**. São Paulo SP: Varela, 1996.

SHIN, H.-G. et al. Tenderization and fragmentation of myofibrillar proteins in bovine longissimus dorsi muscle using proteolytic extract from *Sarcodon aspratus*. **LWT - Food Science and Technology**, v. 41, n. 8, p. 1389–1395, nov. 2008.

SILVA, M. DE L.; CONTRERAS-CASTILLO, C. J.; ORTEGA, E. M. M. Efeito do cozimento na qualidade do músculo Semitendinosus. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 3, p. 441–445, set. 2007.

SMULDERS, F. J. et al. Beef tenderness and sarcomere length. **Meat Science**, v. 28, n. 4, p. 349–363, jan. 1990.

SOUZA, P. DA S. Comparação dos efeitos da temperatura de cocção e espessura da lâmina de corte na força máxima de cisalhamento Warner Bratzler, no Longissimus dorsi e, determinação de um modelo matemático que correlacione estes parâmetros com a força máxima de cisalhamento. **InfoBibos**, v. 2, n. 7, 2008. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2008_1/Cisalhamento/index.htm>. Acesso em: 28 Ago. 2013.

STANLEY, D. W.; TUNG, M. A. Microstructure of food and its relation to texture. In: DEMAN, J. M. et al. (Eds.). **Rheology and Texture in Food Quality**. Westport, Conn.: AVI Publishing Co., 1976.

TAYLOR, R. G. et al. Is Z-disk degradation responsible for postmortem tenderization? **Journal of Animal Science**, v. 73, n. 5, p. 1351–1367, maio 1995.

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

TRINDADE, M. A.; GRESSONI JUNIOR, I. Bioquímica da Carne: Bases Científicas e Implicações Tecnológicas. In: KOBLITZ, M. G. B. (Ed.). **Bioquímica de Alimentos: Teoria e Aplicações Práticas**. 1. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. p. 192–233.

VAZ, F. N. et al. Qualidade e composição química da carne de bovinos de corte inteiros ou castrados de diferentes grupos genéticos Charolês x Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 2, p. 518–525, abr. 2001.

WEAVER, A. D.; BOWKER, B. C.; GERRARD, D. E. Sarcomere length influences postmortem proteolysis of excised bovine semitendinosus muscle. **Journal of Animal Science**, v. 86, n. 8, p. 1925–1932, 11 abr. 2008.

WHEELER, T. L.; SHACKELFORD, S. D.; KOOHMARAIE, M. Sampling, cooking, and coring effects on Warner-Bratzler shear force values in beef. **Journal of Animal**

Science, v. 74, n. 7, p. 1553–1562, jul. 1996.

WHEELER, T. L.; SHACKELFORD, S. D.; KOOHMARAIE, M. **Standardizing collection and interpretation of Warner-Bratzler shear force and sensory tenderness data**. Proceedings of Reciprocal Meat Conference. **Anais...**Ames, IA: American Meat Science Association, 1997. Disponível em: <<https://afrsweb.usda.gov/SP2UserFiles/Place/54380530/1997500068.pdf>>. Acesso em: 14 ago. 2013

WHEELER, T. L.; SHACKELFORD, S. D.; KOOHMARAIE, M. Variation in proteolysis, sarcomere length, collagen content, and tenderness among major pork muscles. **Journal of Animal Science**, v. 78, n. 4, p. 958–965, abr. 2000.

WYRWISZ, J. et al. Analysis of Relationship Between Basic Composition, pH, and Physical Properties of Selected Bovine Muscles. **Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy**, v. 56, n. 3, p. 403–409, 1 jan. 2012.

XIONG, R. et al. Comparison of Allo-Kramer, Warner-Bratzler and razor blade shears for predicting sensory tenderness of broiler breast meat. **Journal of Texture Studies**, v. 37, n. 2, p. 179–199, 6 abr. 2006.

YANCEY, J. W. S.; WHARTON, M. D.; APPLE, J. K. Cookery method and end-point temperature can affect the Warner-Bratzler shear force, cooking loss, and internal cooked color of beef longissimus steaks. **Meat Science**, v. 88, n. 1, p. 1–7, maio 2011.

YOKOTA, L. G. et al. **Degradação miofibrilar no músculo Longissimus dorsi de bovinos de dois grupos genéticos, submetidos a três tempos de resfriamento**. Anais da 45ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. **Anais...**Lavras MG: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2008

YOUNG, O. A.; BRAGGINS, T. J. Tenderness of ovine semimembranosus: Is collagen concentration or solubility the critical factor? **Meat Science**, v. 35, n. 2, p. 213–222, jan. 1993.

APÊNDICE A – Relatório final do experimento realizado no *Center for Meat Safety and Quality* da *Colorado State University* (Fort Collins CO, Estados Unidos)

Final Report

Understanding the impact of the presence of relative humidity in the beef cooking process on beef tenderness, sensory, protein stability, and appearance.

**Submitted to the National Cattlemen's Beef Association,
Centennial, CO**

June 2016

¹Center for Meat Safety & Quality, Department of Animal Sciences, Colorado State University, Fort Collins, CO 80523

Phone: (970) 491-7615

Devin A. Gredell¹

Dale R. Woerner¹

Lucas Arantes Pereira¹

J. N. Martin¹

J. Daryl Tatum¹

Robert J. Delmore¹

Keith E. Belk¹

RESEARCH PROJECT SUMMARY OUTLINE – FINAL REPORT

6/30/2016

I. Investigators:

Devin A. Gredell (Graduate Research Assistant)¹, Dale R. Woerner (Principal Investigator)¹, Lucas Arantes Pereira¹, J. N. Martin¹, J. Daryl Tatum¹, Robert J. Delmore¹ and Keith E. Belk¹

¹Department of Animal Sciences, Colorado State University, Fort Collins, CO 80523

Phone: 970-491-7615

E-mail: Dale.Woerner@colostate.edu

II. Project Title:

Understanding the impact of the presence of relative humidity in the beef cooking process on beef tenderness, sensory, protein stability, and appearance.

III. Project Objective:

1. Identify differences in shear force measurements of beef strip loin steaks cooked at low and high temperatures and consequently slow and rapid cooking rates at varying levels of humidity.
2. Quantify the impact of cooking rate and humidity on protein stability/degradation.
3. Identify differences in sensory characteristics of beef strip loin steaks cooked at low and high temperatures and consequently slow and rapid cooking rates at varying levels of humidity.
4. Identify differences in steak internal and external appearance of beef strip loins steaks cooked at low and high temperatures and consequently slow and rapid cooking rates at varying levels of humidity.

IV. Supplemental Information:

A. Dissemination Plan

B. Financial Report

C. Acknowledgement

Funded by The Beef Checkoff

Abstract:

The objective of this study was to evaluate the role that cooking rate and relative humidity had in the sensory development of beef LM steaks. USDA Choice beef strip loins ($n = 30$) were collected from a commercial packing facility. Each strip loin was cut into 6 sets of paired steaks and each set was randomly assigned to 1 of 6 cookery methods representing 2 oven temperatures [low (LT) and high (HT)] and 3 levels of relative humidity [zero (ZH), mid (MH), and high (HH)]. Each steak was vacuum-sealed and aged at 2°C for 14 d. Relative humidity greatly reduced cooking rate, especially at LT. Cook loss was not affected ($P > 0.05$) by RH at HT; however, LT-ZH steaks had the greatest ($P < 0.01$) cook loss of all treatments. Low temperature-zero humidity steaks appeared the most ($P < 0.01$) well-done based off of both external and internal color evaluations. Total collagen content was greatest ($P < 0.01$) in steaks cooked with ZH, regardless of OT. Based off of differential scanning calorimetry curves, myosin, sarcoplasmic proteins, and actin denatured at 56.61°C, 65.41°C, and 80.51°C, respectively. Denaturation of proteins was influenced ($P < 0.05$) by RH and change in enthalpy (J/g) of curves appeared to decrease as cooking rate increased. Denaturation of myosin did not differ ($P > 0.05$) among treatments and little intact myosin remained after cooking. The majority of sarcoplasmic proteins were denatured in ZH and MH samples; however, energy was still required ($P < 0.05$) to denature intact sarcoplasmic proteins remaining in HH samples. Less ($P < 0.05$) energy was needed to denature actin in ZH samples than in MH and HH, but significant amounts of actin remained intact in all RH levels. Trained panelists rated steaks the most tender ($P < 0.01$) when cooked at LT with ZH and MH. Relative humidity did not affect ($P > 0.05$) juiciness at HT; however, MH and HH produced a juicier ($P < 0.01$) steak when cooked at LT. Flavor attributes were influenced ($P < 0.05$) by both OT and RH. Beef/brothy intensities were greatest ($P < 0.01$) for LT-ZH samples. Browned/grilled intensity decreased ($P < 0.01$) as RH increased. Adding RH

increased ($P < 0.01$) bloody/metallic intensity, which was more prominent when steaks were cooked at LT. Results of this study indicate that not only oven temperature, but also relative humidity has a significant influence on cooking rate and the heat-related changes to proteins that influence tenderness. Furthermore, adding relative humidity to the cooking environment showed to restrict the Maillard reaction and the surface browning of beef during cooking, altering the flavor profile. These results will be beneficial for foodservice industry personnel when making decisions on the cooking method most well-suited for their establishment.

Introduction:

Tenderness is one of the most important attributes when determining consumer acceptability of beef (O'Quinn et al., 2012), which has shown to be influenced by cooking method (Lawrence et al., 2001; Yancey et al., 2011). Therefore, it is critical to establish cooking parameters that maximize tenderness, without sacrificing efficiency and practicality of the cooking process. In previous tenderness studies, researchers have accredited the addition of humidity to the cooking environment as a way to improve the process of tenderization during cooking (Kolle et al., 2004; Bowers et al., 2012). Additionally, previous research funded by beef Checkoff funds has shown that steaks cooked at low temperatures with 100% relative humidity increases LM steak tenderness when compared to dry-heat cooking methods (Schubert et al., 2014). Humidity can be useful in the breakdown of protein and specifically the gelatinization of collagen, which is especially beneficial in the cooking of tougher muscles. Collagen shrinks and denatures around 65°C, contributing to the toughening of meat during cooking (Purslow, 2005); however, if held above 70°C for extended periods, denatured collagen will begin to gelatinize and increase tenderness. For this reason, rate of cooking has also shown to play a significant role in the tenderness of cooked beef (Lawrence et al., 2001).

As flavor continues to become more important to consumer acceptability (Hunt et al., 2014; Schubert et al., 2014), the role of cook method on flavor is of substantial importance. It has been well established that different cooking methods produce different beef flavor profiles (McKenna et al., 2004). More specifically, cook surface temperature can significantly influence the production of Maillard reaction products during cooking. It has been recently reported that cooking at lower surface temperature produces more fatty and oily aroma compounds, whereas, high temperatures increase production of roasted and nutty aroma compounds (Kerth, 2016). Furthermore, moisture can further alter the flavor

development reactions that occur during cooking. Differences in water activity, as well as surface temperature, influence the development of distinguishing flavors between stewed and roasted meat (Van Ba et al., 2012).

Therefore, the objectives of this study were: 1) to identify differences in shear force measurements of beef LM steaks cooked at low and high temperatures at varying levels of humidity; 2) to identify differences in sensory characteristics of beef LM steaks cooked at low and high temperatures at varying levels of humidity; 3) to identify differences in steak internal and external appearance of beef strip loin steaks cooked at low and high temperatures and consequently slow and rapid cooking rates at varying levels of humidity; and 4) to determine the impact of cooking rate and humidity on protein. By better understanding the role of cook method on beef palatability, more accurate cooking recommendations may be made to the foodservice industry in order to maximize the eating satisfaction of beef.

Materials and Methods:

Institutional Animal Care and Use Committee approval was not required for this study as samples were obtained from federally inspected harvest facilities.

Sample Collection, Fabrication, and Treatment Designation

USDA Choice beef strip loins (n = 30) were randomly selected from a commercial beef harvest facility for inclusion in this study. Following collection, all strip loins were transported under refrigeration (2°C) to the Colorado State University Meat Laboratory and stored (2°C) until being fabricated into 6 sets of paired steaks, cut 2.54 cm thick. Each set of paired steaks were randomly assigned to 1 of 6 treatments (Table 1). The experiment was designed as a 2 × 3 factorial with treatments representing 2 oven temperatures [80°C/low (LT) and 204°C/high (HT)] and 3 levels of relative humidity [zero (ZT), mid (MH), and high (HH)], for a total of 6 individual treatments. For LT treatment groups, oven settings for MH and HH humidity levels were set at 50% and 100%, respectively. For HT treatment groups,

oven settings for MH and HH humidity levels were set at 35% and 70%, respectively. The percent of RH added to the cooking environment differed between OT so that the amount of RH could be maximized for each respective OT. Setting RH greater than 70% at 204°C was not possible due to evaporative losses. All 6 OT × RH treatment combinations were represented within each strip loin, so that comparisons could be made within strip loin. One paired steak was identified as a “shear force” steak, while the second steak was identified as a “sensory” steak. All steaks were vacuum packaged, aged for 14 d post mortem at 2°C, then frozen until analysis.

Cooking Procedures

The treatment combinations outlined in Table 1 were achieved by setting oven temperature (dry bulb temperature) and relative humidity levels (% moisture) in a commercial combination oven (Model SCC WE 61 E; Rational, Landsberg am Lech, Germany). Prior to cooking, frozen steaks were tempered at 2°C for 16-24 h. Steaks were grill marked in a crosshatch pattern (45° rotation from grill grates) on both sides, allowing one minute per hatch, on an open-hearth char broiler set at 315°C. Once steaks were grill marked, they were positioned on a perforated pan at the prescribed oven conditions to an internal temperature of 71°C. Steak temperature was monitored in the geometric center of the steak using the oven core temperature probe (Model SCC WE 61 E; Rational, Landsberg am Lech, Germany). The time required to reach the desired internal temperature for each steak and cooking loss was recorded.

External and Internal Steak Appearance and Shear Force Measurements

Steaks designated for shear force were cooked according to their respective treatments (Table 1) and subjected to Warner-Bratzler shear force (WBSF) and slice shear force (SSF) procedures. Immediately following cooking and before shear force determinations, the external and internal appearance of steaks was evaluated. A colorimeter (Hunter Associates

Laboratory, Reston, VA) was used to collect CIE L^* a^* b^* measurements on the exterior and interior of each steak. Three measurement of CIE L^* a^* b^* were obtained from different locations within or on the outer surface of the steak to gather an average for each sample. Exterior measurements were taken between char marks created by grill marking the steaks. Subjective measurements for degree of doneness, and internal and external steak appearance was also recorded by 2 trained individuals. Visual degree of doneness was evaluated and recoded using a 5-point hedonic scale (1 = rare, 2 = medium rare, 3 = medium, 4 = medium well, and 5 = well done) in reference to published photographic standards (AMSA, 1995). Internal steak appearance was recorded using an 8-point hedonic scale (1 = purple, 2 = red, 3 = reddish-pink, 4 = pink, 5 = pinkish-grey, 6 = light brown, 7 = medium brown, and 8 = dark brown). External steak appearance was evaluated in between char marks created by grill marking the steaks. Measurements were recorded using an 8-point hedonic scale (1 = light grey, 2 = grey, 3 = greyish-brown, 4 = light brown, 5 = brown, 6 = dark brown, 7 = brownish-black, 8 = black).

Both WBSF and SSF measurements were obtained from every steak using procedures described by Lorenzen et al. (2010). Within 5 min of recording peak internal temperature, a 1cm by 5 cm slice was removed from the steak parallel to the muscle fibers from the lateral end and sheared perpendicular to the muscle fibers, using a universal testing machine (Instron Corp., Canton, MA) equipped with a flat, blunt-end blade (crosshead speed: 500 mm/min, load capacity: 100 kg), resulting in a single SSF measurement for each steak. The remaining portion of each steak was allowed to equilibrate to room temperature (22°C) and at least 4 cores (1.2 cm in diameter) were removed from each steak parallel to the muscle fibers. Each core was sheared perpendicular to the muscle fibers using a universal testing machine (Instron Corp., Canton, MA) fitted with a Warner-Bratzler shear head (crosshead speed: 200 mm/min, load cell capacity: 100 kg). Peak shear force of each core was recorded and the

resulting values were averaged to obtain a single WBSF measurement for each steak. All remaining portions from shear force were saved for collagen analysis.

Trained Sensory Analysis

Prior to cooking, frozen sensory steaks were thawed at 0-4°C for 16-24 h. Due to limited oven capacity for the 6 oven treatments, all sensory steaks were cooked in advanced and reheated on the day of analysis. Sensory steaks were cooked following the same cooking protocol as mentioned above. Immediately following cooking, each steak was placed in a vacuum bag, chilled in an ice water bath for 5-15 minutes, vacuum packaged, and stored at 0-4°C for 16-48 h prior to analysis. On the day of sensory analysis, steaks were reheated in a circulating water bath (Fisher Scientific™ Isotemp™ Heated Immersion Circulators: Model 6200 H24) set at 57.5°C for 30 minutes. Once removed from the water bath, steaks were trimmed of all external fat and connective tissue, sized into 1 cm cubes, and served to trained panelists. All panelists (n = 7-9) were trained to evaluate initial tenderness, sustained tenderness, overall tenderness, juiciness, beefy/brothy, browned/grilled, buttery/fat, burnt, bloody/metallic, livery, and oxidized flavors. Each panelist received 2-3 cubes and evaluated each sample for the aforementioned sensory characteristics using an unstructured line scale verbally anchored at both ends (0 = very tough, very dry, not present; 100 = very tender, very juicy, very intense). Two samples per treatment were served each panel for a total of 12 samples per panel. All remaining samples were retained, vacuum packaged, and stored at -10°C for protein degradation analysis.

Differential Scanning Calorimetry

Degradation of major skeletal muscle proteins (myosin, sarcoplasmic proteins, and actin) was evaluated by differential scanning calorimetry (DSC) (TA Instruments DSC Q20, Albuquerque, NM). An aliquot of 4-10 g was extracted from an internal portion of cooked sample and sealed in a DSC pan. An empty pan was used as a reference. The sample and

reference pans were heated from 25°C to 100°C at a heating rate of 5°C/minute. The peak temperature and denaturation enthalpy (ΔH) were determined from the DSC curve that was obtained from each run.

Collagen

Retained samples from the shear force analyses were composited for the determination of total collagen content. Five ($n = 5$), 6 steak composites from each treatment were homogenized for collagen analysis. Hydroxyproline content was determined according to the method described by Switzer (1991) using a spectrophotometer. Collagen content was calculated by multiplying the hydroxyproline content by a factor of 7.52 (Cross et al., 1973).

Statistical Analysis

Data were analyzed using the procedures of SAS (Version 9.4; SAS Inst. Inc., Cary, NC). The experiment was designed as a 2×3 factorial with oven temperature and relative humidity as the fixed effects. Main effect and interaction comparisons were tested for significance using PROC GLIMMIX with $\alpha = 0.05$ and the denominator degree of freedom was calculated by the Kenward-Roger method. For trained sensory analysis, individual panelist was included in the model as a covariate. Off temperature was used as a covariate in the model to analyze slice shear force and Warner-Bratzler shear force data.

Results:

Cooking Rate and Cook Loss

The time required to cook beef LM steaks to 71°C for each of the 6 treatments is presented in Table 2. At low temperature, MH and HH decreased cooking time by 93.26 and 108.06 min, respectively. Cooking times were reduced when relative humidity was added at high temperature; however, it was to a much lower extent. At high temperature, MH did not reduce cook time; however, a 2.96 min reduction in cook time was seen between ZH and HH steaks. Water has a much greater specific heat capacity than air, thus adding moisture to the

cooking environment significantly increased the efficiency of heat transfer from the oven to the steak to decrease cooking time. These results are in agreement with previous studies reporting an increase in cooking rate when humidity is added to the cooking environment (Laakkonen et al., 1970; Vittadini et al., 2005). The percent of cook loss was influenced by a $OT \times RH$ interaction (Table 2). Low temperature-zero humidity steaks resulted in the greatest ($P < 0.01$) loss of moisture during cooking of all treatments. Relative humidity had no ($P > 0.05$) impact on cook loss when steaks were cooked at high temperature; nevertheless, cook loss at high temperature was still greater ($P < 0.01$) than at both LT-MH and LT-HH.

Cooked Steak Color

Instrumental and visual assessment of external and internal color of cooked beef steaks are presented in Table 5. All internal and external color measurements were affected by an interaction of the main effects. For both external and internal color measurements, LT-ZH generally produced darker colored steaks with the appearance of being more well-done. The moisture from added humidity limited the reactions responsible for the surface browning of steaks. For both oven temperatures, external CIE L^* values increased ($P < 0.01$) with increasing relative humidity levels, which is indicative of a lighter surface color. Additionally, LT-ZH steaks had the darkest external color ($P < 0.01$) of all treatments as determined by CIE L^* . When steaks were cooked at high temperature, a^* values, which are indicative of a redder color, decreased ($P < 0.01$) as relative humidity increased. However, when cooked at low temperature, a^* values were the lowest ($P < 0.01$) when humidity was absent from the cooking environment. Similarly, Isleroglu et al. (2014) reported higher CIE L^* and lower CIE a^* values from chicken breasts cooked using a steam-assisted hybrid oven. Trained panelist assessment of external color produced similar results as instrumental color values. Trained panelists found LT-ZH steaks to be the darkest ($P < 0.01$) of all treatments.

Within low temperature treatments, darkness of external surface color decreased ($P < 0.01$) as relative humidity increased. Similarly, HT-ZH steaks were darker ($P < 0.01$) than both HT-MH and HT-HH steaks; however, no visual color differences ($P > 0.05$) were found between HT-MH and HT-HH samples.

Internal CIE L^* values were greatest ($P < 0.01$) from LT-ZH steaks compared to all other treatments. No additional differences ($P > 0.05$) in internal CIE L^* values were observed among any of the other treatments. Low temperature-zero humidity steaks produced the lowest ($P < 0.01$) CIE a^* values of all treatments. Based off of instrumental color values, LT-ZH steaks were the lightest and least red of all treatments, giving these samples the appearance of being the most well done, regardless of all treatments being cooked to the same internal temperature. This also is reflected in trained panelist ratings for doneness and internal color. Low temperature-zero humidity steaks appeared to be the most ($P < 0.01$) well done, as well as, the brownest ($P < 0.01$) internally of all treatments. With the exception of LT-ZH steaks, no other treatment ($P > 0.05$) differed in the visual assessment of doneness and appeared to be cooked to a medium degree of doneness, which was the targeted degree of doneness during cooking. When steaks were cooked at HT, RH had no influence ($P > 0.05$) on trained panelist evaluation of internal color; however, when steaks were cooked at LT, panelists scored ZH steaks the darkest ($P < 0.01$) and MH steaks the lightest ($P < 0.01$) for internal color, respectively. Assessing subjective and objective measurements for both external and internal cooked surfaces, it is evident that cooking parameters had a significant influence on the appearance of cooked steaks. Although all steaks were cooked to an internal temperature of 71°C, LT-ZH steaks had the appearance of being the most well-done of all treatments. At LT, however, the addition of RH reduced the appearance of samples being cooked to a higher degree of doneness.

Differential Scanning Calorimetry

Table 4 shows the Δ_H (J/g) and peak temperatures required to denature remaining intact myosin, sarcoplasmic proteins, and actin. Previously published literature has determined denaturation temperatures for myosin, sarcoplasmic proteins, and actin to be 55.5°C, 66.8°C, and 80.9°C, respectively (Findlay et al., 1986). In the current study, similar denaturation temperatures were recorded for myosin (56.6°C), sarcoplasmic proteins (65.4°C), and actin (80.5°C). Differences in Δ_H for each protein appear to be related to cooking rate and exposure time to heat, which was influenced by relative humidity level. No differences ($P > 0.05$) in Δ_H were observed for myosin, regardless of RH. The low Δ_H for myosin indicates that nearly all myosin was denatured during the initial cooking process and is not expected to contribute to tenderness differences among treatments. Myosin shrinks upon denaturation and is responsible for the initial toughening phase of meat during cooking . The majority of sarcoplasmic proteins were denatured during cooking with ZH and MH; however, greater ($P = 0.02$) amounts of sarcoplasmic proteins remained intact in steaks cooked using HH. Thus, it seems that the reduction in cooking time of HH steaks did not allow for adequate exposure of sarcoplasmic proteins to the required denaturation temperature to completely alter the protein structure. Unlike myofibrillar proteins, sarcoplasmic proteins expand rather than shrink upon heating, as well as, aggregate and gelatinize during cooking (Baldwin, 2012). Many of these proteins are enzymes, which have shown to have a tenderizing effect when cooked for long periods of time at low temperatures (Tornberg, 2005). The Δ_H of sarcoplasmic proteins aligns with trained sensory tenderness ratings, therefore, the differences in the effects of heat on sarcoplasmic proteins may have played a significant role in the tenderization of these cooking treatments. Additionally, greater ($P = 0.02$) amounts of actin remained intact in steaks cooked using MH and HH when compared to steaks cooked using ZH; however, based off of Δ_H values, substantial amounts of actin remained intact in all RH levels after the cooking process. The substantial increase in

cooking time of steaks cooked with ZH facilitated an increased exposure of proteins to the higher temperatures required to denature actin. Previously, Bertram et al. (2006) showed that ΔH of all 3 proteins gradually decreased as final internal temperature increased until peaks were practically devoid when samples were cooked to 75°C. Although the current study did not evaluate different internal temperatures, cooking procedures from both studies facilitated differences in heat transfer which appeared to have similar effects on protein denaturation. There is little understanding how DSC curves of cooked meat directly relates to perceived tenderness, but this could be an area of further investigation for future projects.

Collagen

Concentrations of total collagen content remaining in cooked steaks are shown in Table 4. It has been suggested that any collagen gelatinized during cooking would be released with the cook loss (Palka, 1999), thus it was assumed that any changes in collagen solubility would be observed by measuring total collagen remaining in cooked steaks. Steaks cooked with ZH, regardless of oven temperature, had greater ($P < 0.01$) concentrations of collagen than both MH and HH steaks. It does not seem that total collagen content had much of an effect on sensory tenderness, since ZH steaks had the greatest concentrations of collagen, but the most desirable perceived tenderness. Also, the greater collagen content of ZH steaks may have been partially related to the greater cook loss seen in LT-ZH steaks, resulting in a more concentrated collagen content. Although many studies have found significant relationships between total collagen and tenderness (Riley et al., 2005), others have been inconsistent in attempting to fully understand and establish the relationship between connective tissue and meat tenderness (Reagan et al., 1976; Seideman et al., 1987). Furthermore, tenderness of LM is affected less by collagen content and more from proteolysis (Koohmaraie and Geesink, 2006), so any differences in collagen content may have had a smaller influence on perceived tenderness. Collagen begins to denature and shrink between 64-68°C, which results in an

initial toughening of meat (McCormick, 1999); however, as meat continues to be held at temperatures $< 70^{\circ}\text{C}$, collagen begins to solubilize and an increase in tenderness is observed. Although collagen content was greatest in ZH treatments, this may not accurately reflect the heat-induced structural changes in collagen that may have occurred due to an extended cooking time and exposure to temperatures $< 70^{\circ}\text{C}$. Differences in sensory tenderness between oven temperatures cannot be explain by protein degradation results, suggesting that changes in the structure of collagen may have very well contributed to differences in tenderness. Consequently, there could be benefit in using techniques to more specifically evaluate the heat-induced structural changes in collagen as a result of varying oven temperature and relative humidity level treatments in future studies.

Shear Force

Slice shear force (SSF) values were affected by relative humidity (Table 6). Regardless of oven temperature, steaks cooked with HH produced greater ($P = 0.02$) SSF values than steaks cooked with both ZH and MH. Warner-Bratzler shear force (WBSF) values were influenced by oven temperature. Steaks cooked at low temperature had greater ($P < 0.01$) WBSF values than those cooked at high temperature. Generally speaking, SSF values appeared to be positively affected by a decrease in cooking rate; however, a slow cooking rate showed to be detrimental to WBSF values. There is a known tenderness gradient in beef muscles (Derington et al., 2011), thus these conflicting results could partially be explained by difference in sample location, since SSF samples were only removed from the lateral portion and WBSF samples from the medial portion of the steak. Slice shear force values align with relative humidity affects on trained sensory tenderness (Table 5); however, WBSF values do not help explain perceived tenderness by a trained panel.

Trained Sensory

Tenderness ratings were influenced by both oven temperature and relative humidity (Table 5). Trained panelists rated steaks cooked at low temperature greater ($P < 0.01$) than those cooked at high temperature for initial tenderness, sustained tenderness, and overall tenderness. Previous literature has shown that reducing oven temperature and cooking rate results in a more tender beef product (King et al., 2003; Christensen et al., 2011).

Additionally, steaks cooked with ZH and MH were rated greater ($P < 0.01$) than those cooked with HH for initial tenderness, sustained tenderness, and overall tenderness. Again, this decrease in tenderness can be attributed to an increase in cooking rate as a result of adding humidity to the cooking atmosphere. Unlike the current findings, Kolle et. al (2004) reported increases in tenderness as a result of moist-heat cookery when compared to dry-heat cookery; moist-heat cookery methods were used that resulted in a slower cooking rate (Kolle et al., 2004; Schubert et al., 2014) than dry-heat methods used. Therefore, it is hard to determine if increased tenderness was the result of the slower cooking rate or the added humidity. In agreement with the current results, however, Berry et al. (1977) found *semimembranosus* steaks cooked using dry heat to be more tender than those cooked with moist heat.

Trained sensory ratings for juiciness were affected by an interaction of the main effects (Table 5). When steaks were cooked at high temperature, relative humidity had no influence ($P > 0.05$) on juiciness. However, when steaks were cooked at low temperature, steaks cooked with MH were rated juicier ($P < 0.01$) than both HH and ZH, respectively. Furthermore, LT-ZH steaks were rated as the least juicy ($P < 0.01$) of all treatments, whereas, LT-MH steaks were rated the juiciest ($P < 0.01$). As expected, juiciness scores were closely related to cook loss percentages. It has been shown that moist-heat cookery yields a juicier product due to a decrease in evaporative moisture loss (Bowers et al., 2012).

Beefy/brothy, buttery/fat, and bloody/metallic flavor ratings were influenced by a OT $\times$ RH interaction (Table). When cooked at high temperature, relative humidity had no

influence ($P > 0.05$) on ratings for beefy/brothy intensity; but, when steaks were cooked at low temperature, ZH steaks produced the most intense ($P < 0.01$) beefy/brothy flavors. Furthermore, LT-ZH samples were rated the most intense ($P < 0.01$) for beefy/brothy of all treatments. Cooking steaks with ZH also produced the lowest ($P < 0.01$) ratings for bloody/metallic intensity, regardless of oven temperature. Adding relative humidity increased ($P < 0.01$) bloody/metallic intensity for both oven temperatures; however, LT-MH and LT-HH steaks had a more intense ($P < 0.01$) bloody/metallic flavor than both HT-MH and HT-HH steaks. Cooking steaks with HH decreased ($P < 0.01$) buttery/fat intensity when steaks were cooked at HT; but, similar trends were not seen at low temperature. Low temperature-mid humidity steaks produced a more intense ($P < 0.01$) butter/fat flavor than LT-ZH steaks, with LT-MH steaks performing comparably ($P > 0.05$) to both relative humidity levels. Generally speaking, LT-ZH steaks produced flavor attributes more similar to those of which would be expected from steaks cooked to a higher degree of doneness (Lorenzen et al., 2005).

Both browned/grilled and burnt flavor sensory ratings were affected by RH. Zero humidity steaks produced the most ($P < 0.01$) and HH steaks the least ($P < 0.01$) intense ratings for browned/grilled flavors. Browned/grilled flavors are associated with Maillard reaction products that occur on the surface of cooked meat (Mottram, 1998); however, it is evident in the current study, by evaluating external color and sensory scores, that increasing moisture to the cooking environment interfered with these flavor development reactions and inhibited the non-enzymatic browning process. These conclusions can also be supported by the lighter external color of cooked steaks reported above. Similar results were reported by Isleroglu, et al. (2014) who measured a decrease in the production of Maillard reaction products as a result of adding humidity to the cooking environment of chicken. Additionally, Trained panelists found ZH and HH steaks to have a more intense ($P < 0.01$) burnt flavor

than MH steaks, although all scores for burnt intensity were relatively low compared to other flavor attributes.

No differences ($P > 0.05$) were observed among livery and oxidized off-flavors due to either main effect, nor the interaction of main effects (Table 5). Ratings for livery and oxidized intensity were very low in some samples, but these off-flavors were not present in the majority of samples evaluated by panelists. These low intensity ratings are not expected to play a role in the flavor perception of consumers. In the current study, intensity ratings for livery and oxidized were collected to ensure these off-flavors were not introduced during the reheating of steaks in the water bath. Oxidation can occur during the storage and reheating of cooked meat, which is commonly referred to as “warmed over flavor” (Mottram, 1998); however, vacuum packaging steaks immediately after cooking and reheating in the absence of oxygen prevented oxidation and the development of warmed over flavor in sensory steaks.

Although it was not the objective of the treatment design, LT-HH (moist-heat) and HT-ZH (dry-heat) treatments had similar cooking rates (17.53 vs 13.56 min), allowing for the comparison of moist-heat versus dry-heat to evaluate the influence of 100% relative humidity on sensory development when cooking rates were similar. Neither initial, sustained, or overall tenderness differed between dry and moist-heat cooking; however, moist-heat produced juicier ($P < 0.01$) steaks. However, greater flavor intensities were recorded for dry-heat cooking. Panelists rated steaks cooked using dry-heat more ($P < 0.01$) intense for beefy/brothy, browned/grilled, and buttery/fat flavors; and less ($P > 0.05$) for bloody/metallic flavors. Although juiciness was more favorable for moist-heat cooking, dry-heat cooking produced more desirable flavors. While consumer sensory and acceptability was not evaluated in the current study, recent consumer studies have found flavor to be the most determining palatability trait influencing consumer overall acceptability of beef (O’Quinn et al., 2012; Hunt et al., 2014; Legako et al., 2015). Therefore, it is the assumption that the

advantages in the flavor of dry-heat cooked steaks would be more favorable to consumers over steaks cooked in the presence of 100% humidity, when cooking rate is kept similar.

Conclusions

Since comparisons among treatments were made within the same strip loin, it can be confidently stated that differences seen were effectively due to treatment effects. By varying oven temperature and relative humidity level, significant differences in perceived tenderness, juiciness, and flavor were identified by a trained sensory panel. Steaks cooked at low temperature with no humidity produced one of the most tender steaks of all treatments; however, these samples were by far the least juicy and produced more roast-like flavors that may not be desirable in a steak product. Additionally, the lengthy cooking time required to heat steaks at low temperatures would make this cook method impractical in most foodservice settings. Nonetheless, by adding a mid-level of relative humidity to the cooking environment at a low oven temperature, it was possible to achieve the same advantages in tenderness without sacrificing juiciness, as these steaks were perceived to be the juiciest of all treatment groups. Furthermore, the drastic reduction in cooking time (93.26 min) would make this cook method a practical choice for foodservice professionals. Therefore, greater tenderness can be achieved using slower cook methods, as long as juiciness is maintained with the addition of humidity. Additionally, adding humidity at low oven temperatures reduced brothy, roast-like flavors and increased desirable buttery/fat flavors. This cook method did reduce brown/grilled and increased bloody/metallic intensity; however, it is difficult to interpret how the tradeoffs in flavor intensities would influence consumer acceptability. Overall, cooking at 80°C with 50% relative humidity produced a tender, juicy, and flavorful steak that would be expected to have a successful application in a foodservice setting.

A better understanding of tenderness and flavor development, as affected by oven temperature and relative humidity, would be beneficial for future work. Identifying the combination of oven temperature and relative humidity that combines tenderness, flavor, and juiciness to the highest degree would allow the foodservice industry to maximize customer satisfaction of cooked beef steaks. Schubert et al. (2014) found that cooking LM steaks in the oven with 100% relative humidity increased tenderness and overall desirability, while maintaining juiciness and flavor desirability as LM steak thickness increased. In that same study, dry-heat cook methods decreased sensory attributes as steaks got thicker. Thus, using a combination of grill marking and finishing in an oven with humidity could have further application in cooking thicker and tougher cuts of meat that require lengthier cooking times to reach desired internal temperatures and tenderness thresholds.

References

- Van Ba, H., I. Hwang, D. Jeong, and A. Touseef. 2012. Principle of Meat Aroma Flavors and Future Prospect. In: *Latest Research into Quality Control*. p. 145–176.
- Baldwin, D. E. 2012. Sous vide cooking: A review. *Int. J. Gastron. Food Sci.* 1:15–30.
- Bowers, L. J., M. E. Dikeman, L. Murray, and S. L. Stroda. 2012. Cooked yields, color, tenderness, and sensory traits of beef roasts cooked in an oven with steam generation versus a commercial convection oven to different endpoint temperatures. *Meat Sci.* 92:97–106.
- Christensen, L., P. Ertbjerg, M. D. Aaslyng, and M. Christensen. 2011. Effect of prolonged heat treatment from 48 °C to 63 °C on toughness, cooking loss and color of pork. *Meat Sci.* 88:280–5.
- Cross, H. R., Z. L. Carpenter, and G. C. Smith. 1973. Effect of Intramuscular Collagen and Elastin on Bovine Muscle Tenderness. *J. Food Sci.* 38:998–1003.
- Derington, A. J., J. C. Brooks, A. J. Garmyn, L. D. Thompson, D. B. Wester, and M. F. Miller. 2011. Relationships of slice shear force and Warner-Bratzler shear force of beef strip loin steaks as related to the tenderness gradient of the strip loin. *Meat Sci.* 88:203–208.
- Findlay, C. J., D. W. Stanley, and E. A. Gullett. 1986. Thermomechanical properties of beef muscle. *Meat Sci.* 16:57–70.
- Hunt, M. R., A. J. Garmyn, T. G. O’Quinn, C. H. Corbin, J. F. Legako, R. J. Rathmann, J. C. Brooks, and M. F. Miller. 2014. Consumer assessment of beef palatability from four beef muscles from USDA Choice and Select graded carcasses. *Meat Sci.* 98:1–8.
- Kerth, C. 2016. Determination of volatile aroma compounds in beef using differences in steak thickness and cook surface temperature. *Meat Sci.* 117:27–35.
- King, D. A., M. E. Dikeman, T. L. Wheeler, C. L. Kastner, M. Koohmaraie, D. a. King, M. E. Dikeman, T. L. Wheeler, C. L. Kastner, and M. Koohmaraie. 2003. Chilling and cooking rate effects on some myofibrillar determinants of tenderness of beef. *J. Anim. Sci.* 81:1473–1481.
- Kolle, B. K., D. R. McKenna, and J. W. Savell. 2004. Methods to increase tenderness of individual muscles from beef rounds when cooked with dry or moist heat. *Meat Sci.* 68:145–54.
- Koohmaraie, M., and G. H. Geesink. 2006. Contribution of postmortem muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system. *Meat Sci.* 74:34–43.
- Laakkonen, E., G. H. Wellington, and J. N. Sherbon. 1970. LOW-TEMPERATURE, LONG-TIME HEATING OF BOVINE MUSCLE 1. Changes in Tenderness, Water-Binding Capacity, pH and Amount of Water-Soluble Components. *J. Food Sci.* 35:175–177.
- Lawrence, T. E., D. A. King, E. Obuz, E. J. Yancey, and M. E. Dikeman. 2001. Evaluation of

electric belt grill, forced-air convection oven, and electric broiler cookery methods for beef tenderness research. *Meat Sci.* 58:239–246.

Legako, J. F., T. T. N. Dinh, M. F. Miller, K. Adhikari, and J. C. Brooks. 2015. Consumer Palatability Scores, Sensory Descriptive Attributes, and Volatile Compounds of Grilled Beef Steaks from Three Usda Quality Grades. *Meat Sci.* 112:77–85.

Lorenzen, C. L., V. K. Davuluri, K. Adhikari, and I. U. Grun. 2005. Effect of end-point temperature and degree of doneness on sensory and instrumental flavor profile of beefsteaks. *J. Food Sci.* 70:113–118.

McCormick, R. 1999. Extracellular modifications to muscle collagen: implications for meat quality. *Poult. Sci.* 78:785–791.

McKenna, D. R., C. L. Lorenzen, K. D. Pollok, W. W. Morgan, W. L. Mies, J. J. Harris, R. Murphy, M. McAdams, D. S. Hale, and J. W. Savell. 2004. Interrelationships of breed type, USDA quality grade, cooking method, and degree of doneness on consumer evaluations of beef in Dallas and San Antonio, Texas, USA. *Meat Sci.* 66:399–406.

Mottram, D. S. 1998. Flavour formation in meat and meat products: a review. *Food Chem.* 62:415–424.

O’Quinn, T. G., J. C. Brooks, R. J. Polkinghorne, a. J. Garmyn, B. J. Johnson, J. D. Starkey, R. J. Rathmann, and M. F. Miller. 2012. Consumer assessment of beef strip loin steaks of varying fat levels. *J Anim Sci* 90:626–634.

Palka, K. 1999. Changes in intramuscular connective tissue and collagen solubility of bovine m.semitendinosus during retorting. *Meat Sci.* 53:189–194.

Purslow, P. P. 2005. Intramuscular connective tissue and its role in meat quality. *Meat Sci* 70:435–447.

Reagan, J. O., Z. L. Carpenter, and G. C. Smith. 1976. Age-Related Traits Affecting the Tenderness of the Bovine Longissimus Muscle. *J. Anim Sci.* 43:1198–1205.

Riley, D. G., D. D. Johnson, C. C. Chase, R. L. West, S. W. Coleman, T. A. Olson, and A. C. Hammond. 2005. Factors influencing tenderness in steaks from Brahman cattle. *Meat Sci.* 70:347–56.

Schubert, D. M., K. E. Belk, J. D. Tatum, R. J. Delmore, and A. Hess. 2014. Discovering Consumer Preferences for Steak Thickness and Common Food Service Cookery Methods for Beef Strip Steaks. Colorado State University.

Seideman, S. C., M. Koohmaraie, and J. D. Crouse. 1987. Factors associated with tenderness in young beef. *Meat Sci.* 20:281–91.

Tornberg, E. 2005. Effects of heat on meat proteins - Implications on structure and quality of meat products. *Meat Sci.* 70:493–508.

Vittadini, E., M. Rinaldi, E. Chiavaro, D. Barbanti, and R. Massini. 2005. The effect of

different convection cooking methods on the instrumental quality and yield of pork Longissimus dorsi. *Meat Sci.* 69:749–756.

Yancey, J. W. S., M. D. Wharton, and J. K. Apple. 2011. Cookery method and end-point temperature can affect the Warner-Bratzler shear force, cooking loss, and internal cooked color of beef longissimus steaks. *Meat Sci.* 88:1–7.

Table 1. Factorial arrangement of oven temperature and relative humidity levels of treatments.

Oven Temperature	Relative Humidity (%)		
	Zero	Mid	High
80°C	0	50	100
204°C	0	35	70

Table 2. Interaction means for the length of time required to cook beef *longissimus* steaks to 71°C and cook loss using two oven temperatures and three levels of humidity.

	Cook Time (min)	Cook Loss (%)
80°C		
Zero Humidity	125.29	33.03 ^a
Mid Humidity	32.03	21.37 ^c
High Humidity	17.53	21.91 ^c
204°C		
Zero Humidity	13.56	24.56 ^b
Mid Humidity	13.53	24.41 ^b
High Humidity	10.60	24.64 ^b
SEM ¹		0.71
<i>P</i> – Value		< 0.01

^{a-c}Means in the same column lacking a common superscript differ ($P < 0.05$)

¹Standard error (largest) of the least squares mean

Table 3. External and internal color (CIE L*, a*, and b*) and trained personnel (n = 2) visual assessment of doneness, external color, and internal color of beef *longissimus* steaks cooked to 71 °C using two oven temperatures and three levels of humidity.

Color Measurement	80 °C			204 °C			P – Value			
	Zero Humidity	Mid Humidity	High Humidity	Zero Humidity	Mid Humidity	High Humidity	SEM ¹	Oven Temp	Relative Humidity	OT × RH
External Color										
L*	24.30 ^d	36.83 ^b	41.90 ^a	33.13 ^c	37.30 ^b	41.66 ^a	0.85	< 0.01	< 0.01	< 0.01
a*	9.38 ^e	13.04 ^{cd}	11.85 ^d	16.89 ^a	15.14 ^b	13.18 ^c	0.47	< 0.01	< 0.01	< 0.01
b*	9.81 ^c	18.96 ^b	18.18 ^b	24.12 ^a	22.79 ^a	20.19 ^b	0.80	0.43	< 0.01	< 0.01
Internal Color										
L*	54.69 ^a	49.01 ^b	49.37 ^b	48.52 ^b	49.08 ^b	48.86 ^b	0.64	< 0.01	< 0.01	< 0.01
a*	11.80 ^c	18.65 ^{ab}	16.18 ^b	18.66 ^{ab}	17.36 ^{ab}	19.77 ^a	1.31	< 0.01	0.04	< 0.01
b*	16.59 ^c	18.89 ^a	17.14 ^{bc}	18.73 ^a	17.74 ^b	16.67 ^c	0.34	0.54	< 0.01	< 0.01
Visual Assessment										
Doneness ²	4.81 ^a	3.26 ^b	3.33 ^b	3.27 ^b	3.18 ^b	3.28 ^b	0.09	< 0.01	< 0.01	< 0.01
External Color ³	7.13 ^a	5.11 ^{bc}	4.68 ^d	5.41 ^b	4.90 ^{cd}	4.60 ^d	0.11	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Internal Color ⁴	6.78 ^a	5.05 ^c	5.50 ^b	5.27 ^{bc}	5.46 ^b	5.45 ^b	0.09	< 0.01	< 0.01	< 0.01

^{a-d} Means in the same row lacking a common superscript differ ($P < 0.05$)

¹Standard error (largest) of the least squares means

²Doneness: 1 = rare, 2 = medium rare, 3 = medium, 4 = medium well, 5 = well done

³External Color: 1 = light grey, 2 = grey, 3 = greyish-brown, 4 = light brown, 5 = brown, 6 = dark brown, 7 = brownish-black, 8 = black

⁴Internal Color: 1 = purple, 2 = red, 3 = reddish-pink, 4 = pink, 5 = pinkish-grey, 6 = light brown, 7 = medium brown, and 8 = dark brown

Table 4. Change in enthalpy required to denature remaining intact myosin, sarcoplasmic protein, and actin of beef *longissimus* steaks cooked to 71°C using two oven temperatures and three levels of humidity.

Humidity Level	Myosin (J/g)	Sarcoplasmic Protein (J/g)	Actin (J/g)
Zero Humidity	0.047	0.034 ^b	0.307 ^a
Mid Humidity	0.034	0.035 ^b	0.734 ^b
High Humidity	0.027	0.121 ^a	0.646 ^b
Peak Temperature (°C)	56.661	65.410	80.518
SEM ¹	0.038	0.024	0.161
<i>P</i> - Value	0.866	0.020	0.023

^{a-b}Means in the same column lacking a common superscript differ ($P < 0.05$)

¹Standard error (largest) of the least squares means

Table 5. Trained sensory ratings¹ for beef LM steaks cooked to 71 °C using two oven temperatures and three levels of humidity.

Trait	80 °C				204 °C				P – Value		
	Zero	Mid	High	SEM ²	Zero	Mid	High	SEM ²	Oven Temp	Relative Humidity	OT × RH
Initial Tenderness	67.43 ^{am}	67.17 ^{am}	62.77 ^{am}	1.62	62.84 ^{bm}	63.63 ^{bm}	60.19 ^{bn}	1.51	< 0.01	< 0.01	0.44
Sustained Tenderness	64.81 ^{am}	63.41 ^{am}	58.60 ^{am}	1.51	59.27 ^{bm}	59.61 ^{bm}	54.98 ^{bn}	1.54	< 0.01	< 0.01	0.47
Overall Tenderness	66.42 ^{am}	65.53 ^{am}	60.81 ^{am}	1.54	61.51 ^{bm}	61.44 ^{bm}	57.55 ^{bn}	2.09	< 0.01	< 0.01	0.61
Juiciness	41.04 ^z	60.16 ^w	56.42 ^x	2.09	52.72 ^y	52.02 ^y	51.36 ^y	2.68	0.43	< 0.01	< 0.01
Beefy/Brothy	56.00 ^w	50.45 ^{xy}	49.32 ^y	2.68	52.22 ^x	51.24 ^{xy}	50.37 ^{xy}	3.27	0.37	< 0.01	< 0.01
Browned/Grilled	47.76 ^m	42.34 ⁿ	40.88 ^o	3.27	47.03 ^m	45.81 ⁿ	42.52 ^o	2.87	0.10	< 0.01	0.16
Buttery/Fat	22.83 ^y	26.07 ^{wx}	23.82 ^{xy}	2.87	27.93 ^w	26.85 ^w	22.83 ^y	1.28	0.01	< 0.01	< 0.01
Burnt	6.90 ^m	5.56 ⁿ	7.09 ^m	1.28	7.04 ^m	4.31 ⁿ	7.46 ^m	2.07	0.72	< 0.01	0.57
Bloody/Metallic	10.31 ^y	18.20 ^w	15.79 ^w	2.07	10.12 ^y	12.82 ^x	12.98 ^x	0.22	< 0.01	< 0.01	0.01
Livery	0.79	0.23	0.39	0.22	0.16	0.14	0.63	0.31	0.29	0.18	0.07
Oxidized	0.82	0.69	0.47	0.38	0.76	0.91	0.84	0.31	0.31	0.75	0.60

^{a-b}Least square means in the same row without a common superscript differ ($P < 0.05$) due to oven temperature^{m-o}Least square means in the same row without a common superscript differ ($P < 0.05$) due to relative humidity^{w-z}Least square means in the same row without a common superscript differ ($P < 0.05$) due to an over temperature × relative humidity interaction¹Attributes were scored using a 100 mm unstructured line scale: 0 = very tough, very dry, and not present; 100 = very tender, very juicy, and very intense²Standard error of the least squares means

Table 6. Slice shear force (SSF) values, Warner-Bratzler shear force (WBSF) values, total collagen content, and trained sensory ratings¹ for overall tenderness of beef *longissimus* steaks cooked to 71°C using two oven temperatures and three levels of humidity.

	SSF (kg)	WBSF (kg)	Collagen (mg/g)	Overall Tenderness
Oven Temperature				
80°C	21.08	3.88 ^b	1.40	65.95 ^b
204°C	21.81	3.57 ^a	1.17	62.22 ^a
SEM ¹	11.67	2.26	0.11	1.49
<i>P</i> - Value	0.33	< 0.01	0.07	< 0.01
Relative Humidity				
Zero Humidity	20.74 ^m	3.68	1.75 ^m	65.14 ^b
Mid Humidity	20.67 ^m	3.75	1.04 ⁿ	65.40 ^b
High Humidity	22.93 ⁿ	3.75	1.06 ⁿ	61.48 ^a
SEM ²	11.67	2.26	0.10	1.52
<i>P</i> - Value	0.02	0.86	< 0.01	< 0.01

^{a-b}Means in the same column lacking a common superscript differ ($P < 0.05$)

¹Attributes were scored using a 100 mm unstructured line scale: 0 = very tough; 100 = very tender²Standard error (largest) of the least squares means