**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**

Modelos *multiway* PARAFAC e Tucker3 na interação tripla de fatores relacionados a características de carcaça e qualidade de carne bovina

Talita Tanaka Fernandes

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora
em Ciências. Área de concentração: Estatística e Ex-
perimentação Agronômica

**Piracicaba
2019**

Talita Tanaka Fernandes
Bacharel em Estatística

Modelos *multiway* PARAFAC e Tucker3 na interação tripla de fatores relacionados a características de carcaça e qualidade de carne bovina

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:

Prof. Dr. **CARLOS TADEU DOS SANTOS DIAS**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em Ciências. Área de concentração: Estatística e Experimentação Agronômica

Piracicaba
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP

Fernandes, Talita Tanaka

Modelos *multiway* PARAFAC e Tucker3 na interação tripla de fatores relacionados a características de carcaça e qualidade de carne bovina / Talita Tanaka Fernandes. – – versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. – – Piracicaba, 2019 .

43 p.

Tese (Doutorado) – – USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Análise de componentes principais 2. Análise de correspondência 3. Análise sensorial 4. Tripla entrada 5. Tuckals3 . I. Título.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais,
Luiza Kinuko Tanaka e Alcides Fernandes (*in memoriam*)

AGRADECIMENTOS

A minha mãe, Luiza Kinuko Tanaka, por todo apoio e cuidado durante essa jornada.

Ao meu namorado, amigo e companheiro, Welder Angelo Baldassini, pelo apoio, auxílio, dedicação e principalmente paciência.

Ao professor, Carlos Tadeu dos Santos Dias, pela orientação, incentivo e exemplo, desde o início do doutorado.

Aos amigos de turma, em especial Simone Grego e Erasnilson Vieira Camilo pelo apoio e auxílio nas longas horas de estudo.

Aos Professores e funcionários do Departamento de ciências exatas da ESALQ/USP, pela disposição em nos ajudar e dar orientação sempre que preciso.

A Cooreção de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), código de financiamento 001 e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Processo 141888/2015-6 pelo apoio financeiro.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente na realização deste trabalho.

Obrigada!!!

SUMÁRIO

Resumo	6
Abstract	7
1 Introdução	9
Referências	10
2 Análise de componentes principais na interação tripla de dados provenientes de características de carcaça, qualidade de carne e avaliação sensorial com consumidores	13
Resumo	13
Abstract	13
2.1 Introdução	14
2.2 Material e Métodos	15
2.2.1 Dados	15
2.2.2 Algoritmo para o modelo de Tucker3	16
2.2.3 Algoritmo para o modelo PARAFAC	16
2.2.4 <i>Joint plot</i>	17
2.2.5 Critério st	18
2.2.6 Software	18
2.2.7 Resultados e Discussão	18
2.2.7.1 Seleção e escolha do modelo	18
2.2.7.2 Análise gráfica do modelo de Tucker3 (2,2,3)	19
2.2.8 Conclusão	22
Referências	22
3 Análise de correspondência de tripla entrada com dados de característica de carcaça e qualidade de carne bovina	27
Resumo	27
Abstract	27
3.1 Introdução	28
3.2 Material e Métodos	28
3.2.1 Dados	28
3.2.1.1 Animais, características de carcaça e qualidade de carne	28
3.2.1.2 Teste sensorial de qualidade de carne bovina	30
3.2.2 Análise de Correspondência de Tripla Entrada	30
3.2.3 Representação Gráfica	32
3.2.4 Software	32
3.2.5 Resultados e Discussão	32
3.2.5.1 Análise dos fatores classe sexual e marmoreio	32
3.2.5.2 Análise dos fatores classe sexual e ossificação	34
3.2.5.3 Análise dos fatores classe sexual e acabamento de carcaça	35
3.2.6 Conclusão	38
Referências	38
4 Considerações finais	41
5 Trabalhos Futuros	43

RESUMO

Modelos *multiway* PARAFAC e Tucker3 na interação tripla de fatores relacionados a características de carcaça e qualidade de carne bovina

Esse estudo objetivou comparar os modelos *multiway* Tucker3 e PARAFAC para descrição da interação tripla entre variáveis que influenciam a maciez da carne bovina avaliada por consumidores em teste sensorial. Além disso, buscou-se descrever a interação tripla com a utilização de representações gráficas (*joint plot*) para auxiliar a interpretação entre os fatores que influenciam a qualidade da carne. O banco de dados do presente estudo foi composto de informações sobre classe sexual dos bovinos (fêmea, macho castrado e macho inteiro/não-castrado), características de carcaça (ossificação ou maturidade fisiológica e acabamento), qualidade de carne (cor e marmoreio) e testes de palatabilidade da carne (maciez, sabor, suculência e satisfação geral) obtidos em avaliações sensoriais. O modelo Tucker3 proporcionou 98,53% da variância explicada sobre a maciez da carne, enquanto o PARAFAC proporcionou 97,93%. Verificou-se que carnes de cores mais escuras (escore > 6) foram mais associadas ao fator macho inteiro. O modelo Tucker3 também foi utilizado em conjunto com a análise de correspondência visando particionar as medidas de associação de tabelas de tripla entrada num conjunto de dados de qualidade de carne, bem como estabelecer sua quantificação para representação gráfica. Os resultados obtidos permitiram quantificar a inércia das interações, significância e a descrição gráfica das tabelas de tripla entrada: características dos animais (classe sexual) x carne (marmoreio ou gordura intramuscular) x suculência avaliada pelo consumidor. Adicionalmente, foi possível descrever as associações entre as variáveis ossificação (idade dos animais) x classe sexual x maciez da carne, bem como entre acabamento (escore de deposição de gordura na carcaça) x classe sexual x satisfação geral dos consumidores participantes do teste sensorial. As descrições das interações triplas entre esses fatores por meio da aplicação do modelo Tucker3 podem ser utilizadas para avaliação e melhoria das características de importância econômica para indústria, produtores e consumidores de carne bovina.

Palavras-chave: Análise de componentes principais, Análise de correspondência, Análise sensorial, Tripla entrada

ABSTRACT

***Multiway* models PARAFAC and Tucker3 in triple factor interaction related to carcass characteristics and beef quality**

The aim was to compare multiway models such as Tucker3 and PARAFAC to describe the triple interaction between factors that influence the meat tenderness evaluated by consumers in a sensory test. In addition, we describe the triple interaction with the use of joint plots to help explain the factors that influence meat quality. The database of the present study consisted of information on bovine sex class (female, castrated and non-castrated male), carcass traits (ossification or physiological maturity and fatness), meat quality (color and marbling) and beef palatability (tenderness, flavor, juiciness and overall satisfaction) obtained from sensory tests. The Tucker3 model provided 98.53% of the explained variance on meat tenderness, while PARAFAC provided 97.93%. The darkest meat (color score > 6) was found to be more associated with the non-castrated factor. The Tucker3 model was also used in combination with the correspondence analysis to partition the triple entry table association measures into a meat quality data set as well as to quantify them for graphical representation. The results allowed to quantify the interaction inertia, significance and graphical description of the triple entry tables: animal characteristics (sex class) x meat (marbling or intramuscular fat) x juiciness evaluated by the consumer. Additionally, it was possible to describe the associations between variables such as ossification (age of the animals) x sex class x meat tenderness, as well as between fatness (carcass fat deposition score) x sex class x general satisfaction of consumers participating in the sensory test. Descriptions of the triple interactions between these factors through the application of the Tucker3 model can be used to evaluate and improve characteristics of economic importance to beef industry, producers and consumers.

Keywords: Correspondence analysis, Principal component analysis, Sensory analysis, Three way

1 INTRODUÇÃO

Em estudos que contemplam a interação tripla entre fatores, como por exemplo, pesquisas sobre preferência de consumidores, é comum durante a análise dos dados a combinação de dois fatores para simplificar os resultados e facilitar as interpretações. No entanto, essa medida pode levar a perda de informações importantes sobre os resultados encontrados. Com o intuito de contornar essas limitações, existem algumas alternativas para a análise dos dados envolvendo três fatores, sem que seja preciso combinar um fator a outro. Entre as abordagens multifatoriais existentes, destacam-se os modelos multiway de tripla entrada, denominados de PARAFAC e Tucker3.

A análise multiway é o estudo de dados de múltipla entrada (Smilde et al., 2004), e segundo Kroonenberg (2008), os dados de tripla entrada são aqueles que necessitam de um esquema ou arranjo semelhante a uma caixa ou cubo para organizá-lo, como ilustrado na Figura 1.1, em que I, J e K são os fatores com P, Q, R classes, respectivamente.

Figura 1.1. Arranjo tridimensional. Fonte: Adaptado de Latchoumane et al. (2012)

A decomposição de um arranjo de três entradas foi apresentada por Tucker (1963), Tucker (1964) e Tucker (1966) dando origem aos modelos de Tucker, também conhecido como análise de componentes de três - modos e por Harshman (1970) dando origem ao modelo PARAFAC (do inglês, *Parallel Factor Analysis*) (Kroonenberg, 2008). Outro modelo de três entradas, chamado CANDECOMP (do inglês, *Canonical Decomposition*), foi introduzido por Carroll e Chang (1970) e por utilizar a mesma ideia do modelo PARAFAC não será abordado no presente estudo.

Os modelos multiway podem ser utilizados em pesquisas que objetivam investigar as preferências dos consumidores de carne. Sobre esse tema, existem estudos na literatura com carne bovina (Borgogno et al., 2016; Purslow et al., 2017), avícola (Kuttappan et al., 2012), suína (Cerjak et al., 2011) e produtos cárneos processados (Guàrdia et al., 2010; Jorge et al., 2015; Kessler et al., 2019). A existência de interações entre características sensoriais de palatabilidade da carne (i.e. maciez, sabor e suculência) e os fatores relacionados às características de carcaça e carne dos animais podem complicar a melhoria dessas variáveis nos sistemas de produção, afetando diretamente produtores e indiretamente os consumidores. Ainda são escassas as pesquisas que aplicaram modelos multiway para análise de interação tripla de características de carcaça, qualidade de carne e teste sensorial com consumidores. Análises de dados por meio da abordagem multiway podem ser ferramentas fundamentais para direcionar as ações de produtores e indústria frigorífica, visando a melhoria da qualidade da carne e agregação de valor ao produto final.

Nesse contexto, a presente tese tem por objetivos descrever possíveis interações provenientes de tabelas de tripla entrada por meio de técnicas multiway, apresentando graficamente essas interações afim de facilitar a interpretação de dados sobre classe sexual dos bovinos, características de carcaça (ossificação e acabamento), qualidade de carne (cor e marmoreio) e opinião de consumidores obtida por teste sensorial de palatabilidade (maciez, suculência, satisfação geral).

Assim, no Capítulo 2 foi conduzida uma revisão dos modelos PARAFAC e Tucker3 para tabela de tripla entrada com dados contínuos. Para cada um dos modelos foi apresentado o método de seleção da dimensionalidade, escolha do modelo, algoritmo utilizado e gráficos. A aplicação dos modelos foi feita a um conjunto de dados de características de carcaça, carne e variáveis sensoriais de qualidade.

Considerando que pode ocorrer casos em que a variável resposta estudada seja de natureza discreta, no Capítulo 3 foi utilizada a análise de correspondência de tripla entrada, que permite o estudo e interpretação de dados discretos, no caso via modelo de Tucker3.

Por fim, no Capítulo 5 são apresentadas ideias de trabalhos futuros na mesma linha de pesquisa.

Referências

- Borgogno, M., Saccà, E., Corazzin, M., Favotto, S., Bovolenta, S., e Piasentier, E. (2016). Eating quality prediction of beef from italian simmental cattle based on experts' steak assessment. *Meat science*, 118:1–7.
- Carroll, J. D. e Chang, J.-J. (1970). Analysis of individual differences in multidimensional scaling via an n-way generalization of eckart-young decomposition. *Psychometrika*, 35(3):283–319.
- Cerjak, M., Karolyi, D., e Kovačić, D. (2011). Effect of information about pig breed on consumers' acceptability of dry sausage. *Journal of sensory studies*, 26(2):128–134.
- Guàrdia, M. D., Aguiar, A. P., Claret, A., Arnau, J., e Guerrero, L. (2010). Sensory characterization of dry-cured ham using free-choice profiling. *Food Quality and Preference*, 21(1):148–155.
- Harshman, R. A. (1970). Foundations of the parafac procedure: Models and conditions for an "explanatory" multi-modal factor analysis.
- Jorge, É. C., Mendes, A. C. G., Auriema, B. E., Cazedey, H. P., Fontes, P. R., Ramos, A. L. S., e Ramos, E. M. (2015). Application of a check-all-that-apply question for evaluating and characterizing meat products. *Meat science*, 100:124–133.
- Kessler, F., Nielsen, M. B. R., Tøstesen, M., Duelund, L., Clausen, M. P., e Giacalone, D. (2019). Consumer perception of snack sausages enriched with umami-tasting meat protein hydrolysates. *Meat science*, 150:65–76.
- Kroonenberg, P. M. (2008). *Applied multiway data analysis*, volume 702. John Wiley & Sons.
- Kuttappan, V., Lee, Y., Erf, G., Meullenet, J.-F., McKee, S., e Owens, C. (2012). Consumer acceptance of visual appearance of broiler breast meat with varying degrees of white striping. *Poultry Science*, 91(5):1240–1247.
- Latchoumane, C.-F. V., Vialatte, F.-B., Solé-Casals, J., Maurice, M., Wimalaratna, S. R., Hudson, N., Jeong, J., e Cichocki, A. (2012). Multiway array decomposition analysis of eegs in alzheimer's disease. *Journal of neuroscience methods*, 207(1):41–50.
- Purslow, P., Cepeda, R., Cáfferro, E., Garitta, L., Sosa, M., Frank, D., Duizer, L., Ngapo, T., Bruce, H., Nassu, R., e Henchion, M. (2017). Differences in consumer perceptions of meat quality. In Troy, D., M. C. H. L.-K. J., editor, *63rd International Congress of Meat Science and Technology*. Wageningen Academic Publishers.
- Smilde, A., Bro, R., e Geladi, P. (2004). *Multi-Way Analysis with Applications in the Chemical Sciences*. Chichester: John Wiley & Sons.

- Tucker, L. R. (1963). Implications of factor analysis of three-way matrices for measurement of change. *Problems in measuring change*, 122137.
- Tucker, L. R. (1964). The extension of factor analysis to three-dimensional matrices. *Contributions to mathematical psychology*, 110119.
- Tucker, L. R. (1966). Some mathematical notes on three-mode factor analysis. *Psychometrika*, 31(3):279–311.

2 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS NA INTERAÇÃO TRIPLA DE DADOS PROVENIENTES DE CARACTERÍSTICAS DE CARCAÇA, QUALIDADE DE CARNE E AVALIAÇÃO SENSORIAL COM CONSUMIDORES

Resumo

Objetivou-se comparar os modelos *multiway* Tucker3 e PARAFAC para estudo da interação tripla entre variáveis que influenciam a maciez da carne bovina avaliada por consumidores em teste sensorial. Além disso, buscou-se descrever a interação tripla com a utilização de representações gráficas (*joint plot*) para auxiliar a interpretação entre os fatores que influenciam a qualidade da carne. Os dados utilizados envolveram informações sobre classe sexual dos bovinos (fêmea, macho castrado e macho inteiro), característica de carcaça (escore de ossificação), coloração (escore de cor da carne) e maciez sensorial obtida com consumidores. O modelo Tucker3 com dimensionalidade de 2 componentes para ossificação, 2 componentes para cor da carne e 3 componentes para classe sexual (i.e. 2,2,3) proporcionou 98,53% da variância explicada. Já o PARAFAC proporcionou valores próximos de variância explicada (97,93%) e dimensionalidade (2,2,2) sobre as variáveis. Com pequena superioridade, o modelo Tucker3 foi selecionado para utilização na representação gráfica dos dados. Com o auxílio do *joint plot* foi possível observar uma interessante separação entre animais machos castrados (Mc) e machos inteiros (Mi), enquanto que os animais da classe sexual fêmea (F) ficaram na posição intermediária. Verificou-se ainda que carnes de cores mais escuras (escore > 6) foram mais associadas a classe Mi. Essas interações encontradas sobre as variáveis ossificação, classe sexual e cor ajudaram a explicar as diferenças de qualidade (maciez sensorial) entre animais castrados versus inteiros.

Palavras-chave: Bovinos; Maciez; Modelos *multiway*; PARAFAC; Tucker3

Abstract

This study evaluate multiway models Tucker3 and PARAFAC in order to describe the triple interaction between variables that influence sensory meat tenderness evaluated by consumers. In addition, we describe the triple interaction with the use of *joint plots* to help explain the factors that influence meat quality. The data from bovine sex class (female, castrated male and non-castrated male), carcass trait (ossification score), color (meat color score) and sensory tenderness obtained from consumers were used. The Tucker3 model with 2 dimensionality for ossification, 2 components for meat color and 3 components for sex class (i.e. 2.2.3) provided 98.53% of the explained variance. The PARAFAC provided values close to explained variance (97.93%) and dimensionality (2.2.2) on the variables. With brief superiority, the Tucker3 model was selected for use in the graphical representation of data. Using the *joint plot* it was possible to observe an interesting separation between castrated male (CM) and non-castrated male (NCM) animals, while animals of female sex class (F) were in the intermediate position. It was also found that darker meat (color score > 6) was more associated with the NCM factor. The interactions found on the ossification, sex class and color variables helped to explain the differences in quality (sensory tenderness) between castrated versus non-castrated animals.

Keywords: Beef cattle; Tenderness; *multiway* models; PARAFAC; Tucker3

2.1 Introdução

Uma metodologia cada vez mais sólida vem sendo desenvolvida e utilizada em diversos trabalhos relacionados aos modelos de efeitos principais aditivos e interação multiplicativa (AMMI). Estes englobam em um único modelo a técnica de análise de variância (ANOVA), para os efeitos principais, e a análise de componentes principais (Silva et al., 2010; Cherubin et al., 2011; Pereira et al., 2010) ou decomposição em valores singulares (Karpievitch et al., 2009; Lai, 2011; Santos et al., 2011), para os efeitos multiplicativos (interação), em estudos sobre a adaptabilidade e estabilidade fenotípica (Marjanović-Jeromela et al., 2011; Rao et al., 2011; Barros et al., 2013).

Entretanto, a maioria dos trabalhos envolvendo a metodologia AMMI clássica na área agrícola estudam apenas a interação genótipos $\times$ ambientes (GE), limitando-se então o estudo de apenas esses dois fatores. Quando se tem um outro fator, por exemplo anos, muitos pesquisadores combinam esse último fator ao ambiente, considerando-os como um único fator ambiental. Em estudos zootécnicos envolvendo avaliações da qualidade da carne bovina, o entendimento da interação entre variáveis como características de carcaça, classe sexual, idade e raça dos animais pode ser complexo. Por vezes, o monitoramento empírico dessas variáveis podem ser insuficientes para garantir níveis de maciez, suculência e sabor nas carnes condizentes com a expectativa do consumidor.

Varela et al. (2006) afirmam que em alguns casos a combinação de fatores ambientais pode levar a uma perda de informação importante na análise dos dados. Desta maneira, outros métodos devem ser utilizados quando três fatores estão envolvidos em um problema, como no caso de estudos de qualidade de carne bovina. Nestes, é possível a aplicação de uma generalização dos modelos AMMI, denominada de modelos *multiway* (Franco et al., 2012; Latchoumane et al., 2012; Bro et al., 2013).

O arranjo *multiway* foi apresentado por Cattell (1952), inicialmente como um modelo de cinco entradas e, posteriormente reduzido a um arranjo de três entradas por questões práticas (Smilde et al., 2004). Dentre os modelos *multiway* que possuem dados organizados em arranjo de três entradas destacam-se: Tucker1, Tucker2, Tucker3 e PARAFAC, que fornecem uma decomposição trilinear dos dados em estudo.

Na literatura, é possível encontrar estudos que avaliaram as diferenças nas percepções dos consumidores sobre a qualidade da carne bovina (Purslow et al., 2017), de outras espécies de interesse zootécnico como suínos e aves (Kuttappan et al., 2012), bem como sobre produtos cárneos processados (Guàrdia et al., 2010; Kessler et al., 2019). No entanto, são escassos as pesquisas que aplicaram modelos *multiway* para análise de interação tripla de características de carcaça, qualidade de carne e teste sensorial com consumidores. O algoritmo PARAFAC tem sido utilizado para investigação da interação entre características físico-químicas obtidas em laboratório de produtos cárneos processados (ex: mortadela) e variáveis sensoriais obtidas por meio de questionários aplicados aos consumidores (Jorge et al., 2015). Em outra abordagem, foi descrita a aplicação do modelo Tucker1 para estudo da palatabilidade da carne bovina com base na avaliação de especialistas, características de carcaça e testes sensoriais com consumidores (Borgogno et al., 2016).

Nesse contexto, os objetivos gerais deste trabalho envolvem comparar os modelos de três entradas (PARAFAC e Tucker3) visando indicar qual é o melhor para estudar a interação entre as características de carcaça e qualidade de carne para predição da maciez obtida por análise sensorial. Ademais, objetivou-se estudar a interação tripla com a utilização de representações gráficas, como o *joint plot*, para auxiliar o estudo e a interpretação da relação entre os fatores.

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Dados

As informações foram obtidas em carcaças bovinas e amostras de carne avaliadas em frigoríficos comerciais e testes sensoriais com consumidores conduzidas pela empresa Brazil Beef Quality Ltda-ME. Os procedimentos seguiram os padrões éticos de pesquisa, estabelecidos pela Universidade de São Paulo (USP) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), aprovado pelo Comitê de Ética de Pesquisa (CAAE no 68478017.9.0000.5395 e parecer no 3.041.072). O banco de dados do presente estudo foi composto de informações sobre classe sexual dos bovinos (fêmea, macho castrado e macho inteiro/não-castrado), característica de carcaça (ossificação ou maturidade fisiológica), qualidade de carne (cor) e testes sensoriais de palatabilidade da carne bovina (maciez) obtida com informações de 7992 avaliações sensoriais e amostras provenientes de 216 animais. A partir desse conjunto de dados, devido a diferenças no número de níveis dos fatores de uma fatia para outra foram utilizadas as informações de 891 avaliações sensoriais.

As amostras de carne foram obtidas na região do contrafilé (12^a a 13^a costela, músculo *Longissimus thoracis et lumborum*), sendo conduzidas em quatro frigoríficos diferentes. Nas coletas foram avaliadas por meio de *data loggers* a taxa de resfriamento e acidificação das carcaças para certificação de ocorrências de encurtamento pelo frio e calor (cold and heat shortening), que poderiam comprometer os experimentos. Informações adicionais foram coletadas nos frigoríficos durante a obtenção dos dados, sendo: raça e cruzamento (grau de sangue zebu), sistema de terminação (pasto ou confinamento), peso de carcaça quente, denticção, conformação, acabamento, comprimento e largura de carcaça, espessura de gordura no contrafilé (12^a a 13^a costela – EGS), espessura de gordura sobre a picanha (sítio P8), pH final e temperatura, área de olho de lombo (AOL) e marmoreio.

Para obtenção da variável ossificação, foram utilizadas tabelas com informações das características das estruturas ósseas para cada pontuação. Essas estruturas ósseas são avaliadas nas vértebras sacrais e auxiliam na determinação da pontuação de ossificação. O formato e a cor dos ossos da costela são usados para determinar a pontuação. Essa característica indica a idade fisiológica do animal e avalia a transformação de cartilagem em osso. A qualidade da carne pode declinar com o aumento da ossificação, pois esta é associada com o aumento da idade do animal ou pela exposição a estresses nutricionais e sanitários. O banco de dados de ossificação, foi organizado nas seguintes classes de pontuação: escore de 110 a 150 (baixo = oss1); escore de 160 a 180 (médio = oss2); escore de 190 a 400 (alto = oss3). A cor da carne foi mensurada com base nos padrões Brazil Beef Quality (Figura 2.1). Essa metodologia foi desenvolvida com base numa adaptação aos padrões de cor da carne utilizada no sistema Australiano (AUS-MEAT, 2018). Após o *rigor mortis* no músculo *longissimus* (entre a 12^a e 13^a costela), a avaliação deve ser feita entre 20 min a 3 horas após a exposição do músculo ao oxigênio. Deve-se assinalar a cor mais escura que está mais próxima da cor da gordura e da carne. Essa avaliação é importante porque carnes de cores mais escuras (ex: > 6) podem estar associadas à condições de estresses nutricionais ou de manejo dos animais, ou ainda de mal armazenamento da carne no varejo, prejudicando a qualidade. Todas as amostras coletadas foram congeladas após atingirem 5 dias de maturação (contados a partir do momento do abate).

Figura 2.1. Paletas para avaliação de cores de gordura intermuscular e da carne. Não é uma representação real, apenas uma ilustração.

2.2.2 Algoritmo para o modelo de Tucker3

Diversos programas foram desenvolvidos baseando-se nos algoritmos de Tucker (1966) para resolver modelos de três entradas (Kroonenberg e De Leeuw, 1980), no entanto, esses algoritmos não eram baseados em mínimos quadrados, com isso, um novo algoritmo referido como TUCKALS3 foi apresentado por Kroonenberg e De Leeuw (1980). Esse algoritmo seguindo as ideias explanadas por (Smilde et al., 2004):

Assumindo que os dados podem ser escritos como:

$$\mathbf{X} = \mathbf{A}\mathbf{G}(\mathbf{C} \otimes \mathbf{B})' \quad (2.1)$$

em que, $\mathbf{X}$ é o arranjo matricizado em uma matriz $I \times JK$, $\mathbf{A}$ a matriz de elementos de dimensão $I \times P$, $\mathbf{B}$ de dimensão $J \times Q$ e $\mathbf{C}$ de dimensão $K \times R$, $\mathbf{G}$ é o arranjo núcleo $\mathbf{G}$ de dimensão $P \times Q \times R$ matricizado em uma matriz $P \times QR$ e $\otimes$ o produto de Kronecker. O espaço de coluna de $\mathbf{X}$ está completamente dentro da faixa de $\mathbf{A}$, porque o modelo presumido é perfeitamente adequado. Este subespaço pode ser determinado como os primeiros vetores singulares esquerdos $\mathbf{P}$ de uma decomposição de valor singular de $\mathbf{X}$, fornecendo assim de forma imediata $\mathbf{A}$. De modo similar, a matriz $\mathbf{B}$ pode ser encontrada diretamente a partir de uma decomposição de valores singular dos dados matricizados no segundo modo, ou seja, realizando uma decomposição de valores singulares de $\mathbf{X}_{(J \times IK)}$ e de $\mathbf{X}_{(K \times IJ)}$, a matriz $\mathbf{C}$ pode ser encontrada. A solução pode ser calculada pelo algoritmo:

Dado $\mathbf{X}$ de tamanho $I \times J \times K$ e respectivas dimensões $(P \times Q \times R)$.

1. $\mathbf{A}$ igual a P vetores singulares de $\mathbf{X}_{(I \times JK)}$;
2. $\mathbf{B}$ igual a Q vetores singulares de $\mathbf{X}_{(J \times IK)}$;
3. $\mathbf{C}$ igual a R vetores singulares de $\mathbf{X}_{(K \times IJ)}$;
4. $\mathbf{G} = \mathbf{A}'\mathbf{X}(\mathbf{C} \otimes \mathbf{B})'$.

2.2.3 Algoritmo para o modelo PARAFAC

Segundo Smilde et al. (2004) os algoritmos para ajustar os modelos PARAFAC são usualmente baseados em mínimos quadrados alternados (MQA), que é vantajoso pois é simples de implementar, incorporar restrições e tem convergência garantida, mas em alguns casos a velocidade com que o algoritmo converge é baixa.

Seguindo as ideias explanadas por Smilde et al. (2004) e Araújo (2009):

O modelo PARAFAC de três entradas é dado por:

$$\mathbf{X}_{(I \times JK)} = \mathbf{A}(\mathbf{C} \odot \mathbf{B})' + \mathbf{E} \quad (2.2)$$

em que $\mathbf{X}$ é o arranjo matricizado em uma matriz $I \times JK$, $\mathbf{A}$ é a matrix de elementos $I \times R$, $\mathbf{B}$ é a matrix de elementos $J \times R$, $\mathbf{C}$ é a matrix de elementos $K \times R$, $\mathbf{E}$ é a matriz de erros experimentais e $\odot$ é o produto de Khatri-Rao (Rao e Mitra, 1971; Schott, 1997) e a função perda de mínimos quadrados correspondente é:

$$\min_{\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}} \|\mathbf{X} - \mathbf{A}(\mathbf{C} \odot \mathbf{B})'\|^2 \quad (2.3)$$

Para ajustar o modelo usando o algoritmo MQA é necessário buscar uma atualização para $\mathbf{A}$ dado $\mathbf{B}$ e $\mathbf{C}$ uma atualização para $\mathbf{B}$ dado $\mathbf{A}$ e $\mathbf{C}$ e uma atualização para $\mathbf{C}$ dado $\mathbf{A}$ e $\mathbf{B}$. Para estimar $\mathbf{A}$ dado $\mathbf{B}$ e $\mathbf{C}$, pode-se formular o seguinte problema

$$\min_{\mathbf{A}} \|\mathbf{X} - \mathbf{AZ}'\|^2 \quad (2.4)$$

em que $\mathbf{Z} = \mathbf{CB}$. Então, para dados $\mathbf{B}$ e $\mathbf{C}$, torna-se um problema de duas entradas para encontrar o mínimo quadrado ótimo $\mathbf{A}$ no modelo $\mathbf{X} = \mathbf{AZ}' + \mathbf{E}$, que tem como solução, quando $\mathbf{Z}$ é de posto (coluna) completo:

$$\mathbf{A} = \mathbf{XZ}(\mathbf{ZZ}')^{-1} \quad (2.5)$$

$\mathbf{B}$ e $\mathbf{C}$ podem ser atualizadas de maneira similar, fazendo a matrização adequada do arranjo $\mathbf{X}$. Assim um algoritmo MQA para ajustar um modelo PARAFAC pode ser descrito como, para certo arranjo $\mathbf{X}$ de dimensão $I \times J \times K$ e procurando o ajuste de dimensão R . Logo algoritmo para o modelo PARAFAC pode ser descrito da seguinte maneira:

1. Inicialize $\mathbf{B}$ e $\mathbf{C}$;
2. $\mathbf{Z}(\mathbf{C} \odot \mathbf{B})$;
 $\mathbf{A} = \mathbf{X}_{I \times JK} \mathbf{Z} \mathbf{Z}'^{-1}$;
3. $\mathbf{Z}(\mathbf{C} \odot \mathbf{A})$;
 $\mathbf{B} = \mathbf{X}_{J \times IK} \mathbf{Z} \mathbf{Z}'^{-1}$;
4. $\mathbf{Z}(\mathbf{A} \odot \mathbf{B})$;
 $\mathbf{C} = \mathbf{X}_{K \times IJ} \mathbf{Z} \mathbf{Z}'^{-1}$;
5. Retorne ao passo 2 até que as mudanças no ajuste do modelo sejam relativamente pequenas.

2.2.4 Joint plot

O *joint plot* para análise de dados de três entradas está relacionado com o biplot desenvolvido por Gabriel (1971) e foi usado inicialmente nas áreas de ciências sociais e psicologia para componentes de Tucker (Smilde et al., 2004). O *joint plot* na análise de três modos é como um biplot, bem como sua interpretação e princípios podem ser estendidos ao *joint plot* (Kroonenberg, 2008). Ainda segundo Kroonenberg (2008) o diferencial é que se constrói um biplot dos componentes de dois modos (os modos de exibição) dados um componente do terceiro modo ou modo de referência e cada biplot conjunto é construído usando uma fatia diferente da matriz núcleo. O sinal referente ao peso de cada nível da fatia fixada do componente deve ser levado em consideração para fazer a interpretação, já que o sinal sendo positivo ou negativo determina se estão interagindo de forma positiva ou negativa com os demais níveis dos outros fatores próximos. Na prática, os *joint plots* provaram ser uma ferramenta poderosa para esclarecer relações complexas entre níveis de dois modos, e muitas aplicações fazem uso deles (Kroonenberg, 2008).

2.2.5 Critério st

O critério de seleção *st*, proposto por Ceulemans e Kiers (2006), é baseado nos desvios e graus de liberdade em vez de soma de quadrados do ajuste e número de parâmetros livres (Kroonenberg, 2008). Os primeiros passos tomados na análise destinam-se a determinar quais modelos devem fazer parte da avaliação e posteriormente é encontrado o menor ângulo entre as linhas que conectam o *i*-ésimo modelo com seu anterior e com o subsequente (Araújo, 2009).

2.2.6 Software

O software utilizado para o desenvolvimento do trabalho foi o R (R Core Team, 2019), no qual existem pacotes para a análise da interação tripla por modelos de Tucker e PARAFAC, no caso foi utilizado o pacote "ThreeWay" elaborado por Del Ferraro et al. (2015).

2.2.7 Resultados e Discussão

2.2.7.1 Seleção e escolha do modelo

Foi utilizado o critério *st* de Ceulemans e Kiers (2006) para selecionar a dimensionalidade dos modelos Tucker3 e PARAFAC, o modelo escolhido de Tucker3 foi o com dimensionalidade (2,2,3), ou seja, 2 componentes para ossificação, 2 componentes para cor da carne e 3 componentes para classe sexual (Figura 2.2(a)), com 98.53% da variância explicada. Já o modelo PARAFAC selecionado foi o (2,2,2), ou seja, 2 componentes para cada fator (Figura 2.2(b)), com 97.73% da variância explicada. Na Tabela 2.1 foram descritos os valores do critério *st* para ambos modelos. Na Figura 2.2 pode ser observado o ajuste (Fit%) para cada combinação de dimensionalidades dos modelos.

Figura 2.2. (a)Valores ajustados (Fit%) de todas as soluções contra o número total de componentes (P+Q+R); (b)Valores ajustados (Fit%) de todas as soluções contra a dimensão (S).

Tabela 2.1. Valores de ajuste (%), número total de componentes (tnc) e valores *st* das soluções no limite superior do casco convexo, para cada complexidade dos modelos PARAFAC e Tucker3.

PARAFAC			Tucker3			
Complexidade	Ajuste(%)	st	Complexidade	Ajuste(%)	ntc	st
1	96.00	0	(1,1,1)	95.99	3	0
2	97.76	2.27	(2,2,3)	98.53	7	2.26
3	99.15	-	(3,3,2)	98.96	8	0.74
			(3,3,3)	100.00	9	-

Os modelos de Tucker, historicamente, precedem o PARAFAC (Sena et al., 2005). Algumas diferenças podem ser apontadas entre esses modelos. Em geral, o modelo PARAFAC retorna soluções únicas (eixos fixos), ao passo que o modelos de Tucker têm a liberdade de rotacionar os eixos, ou seja, não produzem necessariamente soluções únicas, sendo muito mais flexíveis que o anterior. Entretanto, não existe uma regra que aponte o melhor modelo a ser utilizado nas diferentes situações encontradas nos problemas práticos.

Alguns estudos utilizam como critério de comparação entre modelos, por exemplo modelos entre Tucker e PARAFAC, a variação total explicada dos dados. Nørgaard (1996) e Acar et al. (2005) utilizaram esse critério nas áreas de química e computação, respectivamente, sendo que o primeiro obteve resultados semelhantes de variação para Tucker e PARAFAC, e Acar et al. (2005) concluiu que o modelo PARAFAC não era apropriado para o tipo de dados em estudo devido a baixa variância total explicada.

Utilizando como critério a variação total explicada, os dois modelos, Tucker3 e PARAFAC obtiveram um bom ajuste, 98.53% e 97.76% respectivamente, sendo o modelo de Tucker3 um pouco superior. Para tanto, o modelo de Tucker3 (2,2,3) será o escolhido para dar continuidade a análise.

2.2.7.2 Análise gráfica do modelo de Tucker3 (2,2,3)

A representação gráfica do modelo Tucker3 (Figura 2.3) foi conduzida para o estudo da interação de variáveis que influenciam a maciez da carne avaliada por consumidores em teste sensorial, visando também auxiliar o estudo e a interpretação da relação entre os fatores. Nesta abordagem, considerou-se a influência das variáveis ossificação da carcaça (maturidade fisiológica ou idade dos animais), classe sexual (fêmea, macho castrado e macho inteiro) e cor da carne sobre a maciez sensorial.

O Joint plot da primeira componente do primeiro modo (ossificação) (Figura 2.3(a)) representa a interação entre a classe sexual x cor da carne na ossificação 1 e ossificação 2. Com isso, em relação a ossificação 1 (escore a11 é negativo (Tabela 2.2)), observa-se na (Figura 2.3(a)) a relação negativa dos animais machos castrados (Mc) com as cores intermediárias (C4-5) e positiva com cores escuras (C>6), já os animais inteiros (Mi) apresentaram relação negativa com cores escuras (C>6) e claras (C<3). Uma interessante separação entre animais machos castrados (Mc) e machos inteiros (Mi), que foram inversamente relacionados. Nesta projeção, os animais da classe sexual fêmea (F) ficaram positivamente relacionados com as cores baixas e intermediárias (C<3 e C4-5, respectivamente).

Figura 2.3. (a) *Joint plot* projetado dentro da primeira componente do primeiro modo; (b) *Joint plot* projetado dentro da segunda componente do primeiro modo.

Tabela 2.2. Escores dos componentes principais para o modelo de Tucker3 (2,2,3) para o arranjo da interação tripla entre ossificação x cor da carne x classe sexual.

Ossificação			Cor da Carne			Classe Sexual			
	A1	A2		B1	B2		C1	C2	C3
Oss1	-0.55	0.55	C>6	0.77	0.57	F	0.60	-0.65	-0.46
Oss2	0.80	0.57	C4-5	-0.63	0.60	Mi	0.56	0.76	-0.34
Oss3	-0.25	0.61	C<3	-0.10	0.56	Mc	0.57	-0.05	0.82

Arranjo Núcleo						
	B1C1	B2C1	B1C2	B2C2	B1C3	B2C3
A1	-2.63	0.10	4.899	28.2	-33.82	-7.45
A2	0.07	290.82	-9.89	0.00	-14.77	0.04

Ainda na Figura 2.3(a), agora referindo-se a ossificação 2 (a21 é positivo) observa-se as relações positivas entre os animais machos castrados e as cores intermediárias e entre os animais machos inteiros e as cores claras e escuras. Já a relação negativa é observada nos animais da classe sexual fêmea com cor da carne média e clara e animais machos castrados com cores escuras.

Por outro lado, quando o *joint plot* foi construído dentro da segunda componente da ossificação, não foi possível observar o mesmo comportamento dos dados, o que pode ser explicado pelo escores dos componentes serem muito próximos e positivos (Tabela 2.2). Portanto, na Figura 2.3(b) os animais apresentam o mesmo comportamentos dentro dos três níveis de ossificação, ou seja, estão positivamente relacionadas fêmeas a cores escuras, machos inteiros a cores claras e machos castrados a cores intermediárias.

As interações encontradas no presente estudo sobre as variáveis classe sexual e cor da carne corroboram pesquisas descritas na literatura sobre os fatores que explicam as diferenças de qualidade (maciez sensorial) entre animais castrados versus inteiros (Peachey et al., 2002; Nian et al., 2018). Nesses estudos, pesquisadores reportaram que animais inteiros (não-castrados) tem maiores tendências a produzir carne com coloração não satisfatória, pH alto (>5,9), baixo teor de gordura intramuscular (<3%) e com menor maciez. Em particular, as carnes de cores mais escuras foram mais associadas ao fator macho inteiro. Essas variáveis podem exercer influência direta na comercialização dos produtos cárneos e, consequentemente, na perda de valor agregado (Chardulo et al., 2013). Assim, os resultados observados por meio do *joint plot* descrevem importantes informações sobre as preferências entre consumidores, levando em conta os atributos de qualidade (ossificação, coloração e classe sexual) e seus impactos na satisfação dos mesmos. As diferenças no desempenho, características de carcaça e qualidade de carne entre animais não-castrados (inteiros) e castrados também podem ocorrer devido à maior ação hormonal proveniente dos hormônios androgênicos, entre eles a testosterona, produzida nos testículos (Field, 1971).

Adicionalmente, um novo *joint plot* foi projetado utilizando a primeira componente do segundo modo (cor da carne), tal como descrito na Figura 2.4(a). Neste gráfico foram observadas as relações da interação classe sexual x ossificação nas cores escuras e intermediárias, em relação a cores escuras (b11 positivo) foi possível verificar novamente a separação entre animais machos castrados (Mc) e machos inteiros (Mi), bem como a relação negativa das variáveis baixo e médio escore de ossificação (Oss1 e Oss2, respectivamente), o que corrobora os resultados gerados anteriormente (Figura 2.3(a)).

Quanto as cores intermediárias (c21 negativo), observa-se a relação negativa de animais machos castrados com a ossificação 1 e de fêmeas com ossificação 3. Machos inteiros interagem positivamente com animais de ossificação 1 e negativamente com animais de ossificação 2.

Em relação ao *joint plot* do segundo componente do segundo modo 2.4(b) acontece o mesmo que o *joint plot* do primeiro componente do segundo modo, os escores são positivos e com valores próximos,

sendo assim, a interpretação para os três níveis de cor da carne no segundo componente é que animais fêmeas e macho castrado estão positivamente relacionados as ossificações 1 e 3, enquanto animais machos inteiros estão positivamente relacionados a ossificação 2.

Figura 2.4. (a) *Joint plot* projetado dentro da primeira componente do segundo modo; (b) *Joint plot* projetado dentro da segunda componente do segundo modo.

Foi construído outro *joint plot* utilizando a primeira componente do terceiro modo (classe sexual), visando avaliar as possíveis interações entre os fatores cor e ossificação (Figura 2.5). Com relação ao primeiro componente do terceiro modo 2.5(a), os escores dos três níveis são positivos e com valores próximos, nesse caso não foi possível destacar informações relevantes já que todas as observações encontram-se muito próximas, ou seja, animais fêmeas, machos inteiros e machos castrados estão positivamente relacionados as cores clara, média e escura bem como com as ossificações 1, 2 e 3.

No segundo componente do terceiro modo 2.5(b) observa-se a interação ossificação x cor da carne com relação aos animais de classe sexual fêmeas e machos inteiros. Primeiro em relação aos animais fêmeas (escore c12 negativo) observa-se que animais com ossificação 2 interagem negativamente com animais de cores claras, intermediárias e escuras enquanto animais de ossificação 1 e 3 interagem positivamente com animais de cores escuras.

Com relação aos animais machos inteiros, com ossificação 1 e 3 interagem negativamente com as cores escuras enquanto animais de ossificação 2 interagem de forma positiva com as cores claras e intermediárias. Ainda neste gráfico foi possível observar a relação inversa entre as variáveis de cor ($C > 6$ vs. $C4-5$), bem como entre as variáveis de ossificação (Oss1 vs. Oss2).

Por fim, quando observado o terceiro componente do terceiro modo o escore que se sobressai positivamente é relacionado a animais machos inteiros, portanto, no *joint plot* 2.5(c) é possível verificar a interação entre ossificação x cor da carne para animais machos inteiros. Animais de cor da carne escura estão positivamente relacionados a ossificação 1 e negativamente relacionados a ossificação 2, já animais de cor intermediária interagem positivamente com animais de ossificação 2 e 3. Animais de cor clara interagem positivamente com animais de ossificação 3, no entanto estão muito próximos a valores medianos.

Figura 2.5. (a) *Joint plot* projetado dentro da primeira componente do terceiro modo; (b) *Joint plot* projetado dentro da segunda componente do terceiro modo; (c) *Joint plot* projetado dentro da terceira componente do terceiro modo.

2.2.8 Conclusão

A análise de componentes principais de três modos possibilitou juntamente com o *joint plot* observar a separação entre a classe sexual dos animais, sendo que machos castrados (Mc) e machos inteiros (Mi), foram inversamente relacionados. Foi possível verificar o contraste entre animais Mc e Mi pelo escore PCA para o arranjo de tripla entrada (-0,55 vs. 0,80), no qual verificou-se que animais com baixo escore de ossificação (110 a 150) versus médio escore (160 a 180), foram inversamente relacionados. Essas interações encontradas sobre as variáveis classe sexual e cor ajudaram a explicar as diferenças de qualidade (maciez sensorial) entre animais castrados versus inteiros. Em particular, as carnes de cores mais escuras foram associadas ao fator macho inteiro. Além disso, quando o *joint plot* foi construído dentro da primeira componente da classe sexual, não foi possível observar uma separação eficiente dos dados, o que pode ser explicado pelo escores PCA serem positivos, intermediários e muito próximos nessa projeção.

Referências

Acar, E., Çamtepe, S. A., Krishnamoorthy, M. S., e Yener, B. (2005). Modeling and multiway analysis of chatroom tensors. In *International Conference on Intelligence and Security Informatics*, pages 256–268.

Springer.

- Araújo, L. B. de (2009). *Seleção e análise dos modelos PARAFAC e Tucker e gráfico triplot com aplicação em interação tripla*. PhD thesis, Universidade de São Paulo.
- AUS-MEAT, M. L. A. M. (2018). *Handbook of australian beef processing. The Aus-Meat language*.
- Barros, M. A., de Moura Rocha, M., Gomes, R. L. F., Damasceno, K. J., das Neves, A. C., et al. (2013). Adaptabilidade e estabilidade produtiva de feijão-caupi de porte semiprostrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48(4):403–410.
- Borgogno, M., Saccà, E., Corazzin, M., Favotto, S., Bovolenta, S., e Piasentier, E. (2016). Eating quality prediction of beef from italian simmental cattle based on experts' steak assessment. *Meat science*, 118:1–7.
- Bro, R., Leardi, R., e Johnsen, L. G. (2013). Solving the sign indeterminacy for multiway models. *Journal of Chemometrics*, 27(3-4):70–75.
- Cattell, R. B. (1952). The three basic factor-analytic research designs: their interrelations and derivatives. *Psychological bulletin*, 49(5):499.
- Ceulemans, E. e Kiers, H. A. (2006). Selecting among three-mode principal component models of different types and complexities: A numerical convex hull based method. *British journal of mathematical and statistical psychology*, 59(1):133–150.
- Chardulo, L. A. L., Silveira, A. C., e Vianello, F. (2013). Analytical aspects for tropical meat quality assessment. In *Food Quality, Safety and Technology*, pages 53–62. Springer.
- Cherubin, M. R., Santi, A. L., Basso, C. J., EITELWEIN, M., e VIAN, A. (2011). Caracterização e estratégias de manejo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo utilizando a análise dos componentes principais. *Enciclopédia Biosfera*, 7(13):196–210.
- Del Ferraro, M. A., Kiers, H. A. L., e Giordani, P. (2015). Threeway: Three-way component analysis. *R package version*, 1(2).
- Field, R. A. (1971). Effect of castration on meat quality and quantity. *Journal of animal science*, 32(5):849–858.
- Franco, I. L., Malhado, C. H. M., Carneiro, P. L. S., Martins Filho, R., Pereira, D. G., e Dias, C. T. d. S. (2012). Interação genótipo x local x regime alimentar em bovinos nelore por meio de componentes principais de três modos. *Ciência Rural*, 42(12):2252–2264.
- Gabriel, K. R. (1971). The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika*, pages 453–467.
- Guàrdia, M. D., Aguiar, A. P., Claret, A., Arnau, J., e Guerrero, L. (2010). Sensory characterization of dry-cured ham using free-choice profiling. *Food Quality and Preference*, 21(1):148–155.
- Jorge, É. C., Mendes, A. C. G., Auriema, B. E., Cazedey, H. P., Fontes, P. R., Ramos, A. L. S., e Ramos, E. M. (2015). Application of a check-all-that-apply question for evaluating and characterizing meat products. *Meat science*, 100:124–133.
- Karpievitch, Y. V., Taverner, T., Adkins, J. N., Callister, S. J., Anderson, G. A., Smith, R. D., e Dabney, A. R. (2009). Normalization of peak intensities in bottom-up ms-based proteomics using singular value decomposition. *Bioinformatics*, 25(19):2573–2580.

- Kessler, F., Nielsen, M. B. R., Tøstesen, M., Duelund, L., Clausen, M. P., e Giacalone, D. (2019). Consumer perception of snack sausages enriched with umami-tasting meat protein hydrolysates. *Meat science*, 150:65–76.
- Kroonenberg, P. M. (2008). *Applied multiway data analysis*, volume 702. John Wiley & Sons.
- Kroonenberg, P. M. e De Leeuw, J. (1980). Principal component analysis of three-mode data by means of alternating least squares algorithms. *Psychometrika*, 45(1):69–97.
- Kuttappan, V., Lee, Y., Erf, G., Meullenet, J.-F., McKee, S., e Owens, C. (2012). Consumer acceptance of visual appearance of broiler breast meat with varying degrees of white striping. *Poultry Science*, 91(5):1240–1247.
- Lai, C.-C. (2011). A digital watermarking scheme based on singular value decomposition and tiny genetic algorithm. *Digital Signal Processing*, 21(4):522–527.
- Latchoumane, C.-F. V., Vialatte, F.-B., Solé-Casals, J., Maurice, M., Wimalaratna, S. R., Hudson, N., Jeong, J., e Cichocki, A. (2012). Multiway array decomposition analysis of eegs in alzheimer’s disease. *Journal of neuroscience methods*, 207(1):41–50.
- Marjanović-Jeromela, A., Nagl, N., Gvozdanović-Varga, J., Hristov, N., Kondić-Špika, A., e Marinković, M. V. R. (2011). Genotype by environment interaction for seed yield per plant in rapeseed using ammi model. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46(2):174–181.
- Nian, Y., Allen, P., Harrison, S. M., e Kerry, J. P. (2018). Effect of castration and carcass suspension method on the quality and fatty acid profile of beef from male dairy cattle. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(11):4339–4350.
- Nørgaard, L. (1996). Spectral resolution and prediction of slit widths in fluorescence spectroscopy by two-and three-way methods. *Journal of Chemometrics*, 10(5-6):615–630.
- Peachey, B. M., Purchas, R. W., e Duizer, L. M. (2002). Relationships between sensory and objective measures of meat tenderness of beef m. longissimus thoracis from bulls and steers. *Meat science*, 60(3):211–218.
- Pereira, S. A., de Oliveira, G. C., da Costa Severiano, E., Balbino, L. C., e de Oliveira, J. P. (2010). Análise de componentes principais dos atributos físicos de um latossolo vermelho distrófico típico sob pastagem e mata. *Global Science and Technology*, 3(2).
- Purslow, P., Cepeda, R., Cáfferro, E., Garitta, L., Sosa, M., Frank, D., Duizer, L., Ngapo, T., Bruce, H., Nassu, R., e Henchion, M. (2017). Differences in consumer perceptions of meat quality. In Troy, D., M. C. H. L.-K. J., editor, *63rd International Congress of Meat Science and Technology*. Wageningen Academic Publishers.
- R Core Team (2019). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rao, C. R. e Mitra, S. K. (1971). *Generalized inverse of matrices and its applications*. New York: John Wiley & Sons.
- Rao, P. S., Reddy, P. S., Rathore, A., Reddy, B. V., e Panwar, S. (2011). Application gge biplot and ammi model to evaluate sweet sorghum (sorghum bicolor) hybrids for genotype $\times$ environment interaction and seasonal adaptation. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 81(5):438–444.

- Santos, A. R., Santos, M. A., Baumbach, J., McCulloch, J. A., Oliveira, G. C., Silva, A., Miyoshi, A., e Azevedo, V. (2011). A singular value decomposition approach for improved taxonomic classification of biological sequences. *BMC genomics*, 12(4):S11.
- Schott, J. R. (1997). *Matrix analysis for statistics*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Sena, M. M., Trevisan, M. G., Poppi, R. J., et al. (2005). Parafac: uma ferramenta quimiométrica para tratamento de dados multidimensionais. aplicações na determinação direta de fármacos em plasma humano por espectrofluorimetria. *Quim. Nova*, 28(5):910–920.
- Silva, S. C. d., Sbrissia, A. F., et al. (2010). Análise de componentes principais entre características morfogênicas e estruturais em capim-marandu sob lotação contínua. *Ciência Rural*, 40(3):690–693.
- Smilde, A., Bro, R., e Geladi, P. (2004). *Multi-Way Analysis with Applications in the Chemical Sciences*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Tucker, L. R. (1966). Some mathematical notes on three-mode factor analysis. *Psychometrika*, 31(3):279–311.
- Varela, M., Crossa, J., Rane, J., Joshi, A. K., e Trethowan, R. (2006). Analysis of a three-way interaction including multi-attributes. *Crop and Pasture Science*, 57(11):1185–1193.

3 ANÁLISE DE CORRESPONDÊNCIA DE TRIPLA ENTRADA COM DADOS DE CARACTERÍSTICA DE CARCAÇA E QUALIDADE DE CARNE BOVINA

Resumo

Experimentos com dados de características de carcaça, qualidade de carne e teste sensorial com consumidores podem ser utilizados para avaliação e melhoria das características de importância econômica para indústria, produtores e varejo. Nesses estudos, diversas variáveis podem ser mensuradas, desde animais (carcaças) e características organolépticas da carne tais como cor e marmoreio, gerando uma grande quantidade de classes de variáveis. Por isso, é importante o uso de técnicas de análises de dados que possibilitem estudar as interações que possam surgir entre essas variáveis. Objetivou-se conduzir a análise de correspondência visando particionar as medidas de associação de tabelas de tripla entrada num conjunto de dados de qualidade de carne, bem como estabelecer sua quantificação para representação gráfica (biplot). Foram utilizados os fatores classe sexual (fêmea, macho castrado e macho inteiro), características de carcaça (ossificação e acabamento), qualidade de carne (marmoreio) e testes sensoriais de palatabilidade da carne bovina (sabor, maciez, satisfação geral e suculência) obtida com informações de 7992 avaliações sensoriais e amostras provenientes de 216 animais. Os resultados obtidos permitiram quantificar a inércia das interações, significância e a descrição gráfica das tabelas de tripla entrada: características dos animais (classe sexual) x carne (marmoreio ou gordura intramuscular) x suculência avaliada pelo consumidor. Adicionalmente, foi possível descrever as associações entre as variáveis ossificação (idade fisiológica dos animais) x classe sexual x maciez da carne, bem como entre acabamento (escore de deposição de gordura na carcaça) x classe sexual x satisfação geral dos consumidores participantes do teste sensorial.

Palavras-chave: Análise multivariada; Biplot; Consumidor; Tabela de múltipla entrada; Teste sensorial.

Abstract

Studies involving carcass traits, meat quality, and consumer sensory data can be used to evaluate and improve the economically important traits for industry, producers, and retailers. In these studies, several variables can be measured, from animals (carcasses) and organoleptic meat quality traits such as color and marbling, generating a large number of variable classes. Therefore, it is important to use multivariate techniques to study the interactions that may arise between these variables. The objective of this study was to conduct a correspondence analysis in order to partition the triple entry table association measures on meat quality data set, as well as to establish its quantification for a graphical representation (biplot). The following factors were used: sex class (female, castrated male and non-castrated male), carcass characteristics (ossification and fatness), meat quality (marbling) and sensory tests of beef palatability (flavor, tenderness, juiciness and general satisfaction) obtained from 7992 sensory evaluations and 216 animals. The results allowed to quantify the interaction inertia, significance and graphical description of the triple entry tables: animal characteristics (sex class) x meat (marbling or intramuscular fat) x juiciness evaluated by the consumer. Additionally, it was possible to describe the associations between the variables ossification (physiological age of the animals) x sexual class x meat tenderness, as well as between fatness (carcass fat deposition score) x sexual class x general satisfaction of consumers in the sensory test.

Keywords: Biplot; Consumer; Multivariate analysis; Multiway table; Sensory test.

3.1 Introdução

Pesquisas sobre as preferências dos consumidores são ferramentas chaves que servem para direcionar as ações de produtores e indústria frigorífica visando a melhoria da qualidade da carne e agregação de valor ao produto final. Adicionalmente, existem outros fatores importantes relacionados ao desenvolvimento de novas tecnologias que permitem a mensuração de um grande número de características de carcaça e carne, gerando diversas informações essenciais para a cadeia produtiva. Na literatura, estudos tem avaliado as diferenças nas percepções dos consumidores sobre a qualidade da carne bovina (Purslow et al., 2017), carne avícola (Kuttappan et al., 2012), carne suína (Cerjak et al., 2011) e produtos cárneos processados (Guàrdia et al., 2010; Kessler et al., 2019).

Em grande parte desses estudos, a existência de interações entre características sensoriais de palatabilidade de carne (i.e. maciez, sabor e suculência) e os fatores relacionados às características de carcaça e carne podem complicar a melhoria dessas variáveis nos sistemas de produção, afetando indiretamente indústria e consumidores. Por isso, nessas pesquisas, observa-se a utilização de métodos estatísticos multivariados que auxiliam na descrição e predição das informações, considerando a combinação das variáveis obtidas sobre os animais, como por exemplos, peso, ossificação, acabamento e marmoreio, e aquelas provenientes de testes sensoriais com consumidores nos quais são avaliados maciez, sabor e suculência da carne (Bernués et al., 2012; Oury et al., 2007).

Nesse contexto, a análise da interação de variáveis com muitas classes entre as características dos animais, carcaça e carne pode dificultar a sua correta interpretação. No caso em que variáveis são categóricas e dispostas em uma tabela de contingência, por exemplo, é possível estudá-las por meio da análise de correspondência (Greenacre, 1984). Quando a tabela possui varias entradas é chamada de multiway e o cruzamento de três variáveis, threeway (tripla entrada). A análise de correspondência tri-direcional além de compartilhar e ampliar muitas propriedades da análise de correspondência bidirecional também pode ter a dependência entre as variáveis da tabela de tripla entrada modelada e exibida (Beh e Lombardo, 2014).

Nesse capítulo foi conduzido uma análise de correspondência de tripla entrada utilizando o índice de Marcotorchino (Marcotorchino, 1985) e o modelo Tucker3 (Kroonenberg e De Leeuw, 1980) com o objetivo de discutir, interpretar e compreender interações provenientes de tabelas de tripla entrada e suas visualizações gráficas para dados de características de carcaça, da carne bovina e opinião do consumidor avaliada por análise sensorial.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Dados

As informações foram obtidas em carcaças bovinas e amostras de carne avaliadas em frigoríficos comerciais e testes sensoriais com consumidores conduzidas pela empresa Brazil Beef Quality Ltda-ME. Os procedimentos seguiram os padrões éticos de pesquisa, estabelecidos pela Universidade de São Paulo (USP) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), aprovado pelo Comitê de Ética de Pesquisa (CAAE no 68478017.9.0000.5395 e parecer no 3.041.072). Foram utilizados dados de classe sexual, características de carcaça, qualidade de carne e testes sensoriais de palatabilidade da carne bovina (sabor, maciez, satisfação geral e suculência) obtida com informações de 7992 avaliações sensoriais e amostras provenientes de 216 animais.

3.2.1.1 Animais, características de carcaça e qualidade de carne

Para formação do banco de dados relativos aos animais e carcaças foram colhidas as seguintes informações pré-abate: raça e grau de sangue zebu (*Bos taurus indicus*), classe sexual; estrutura cor-

poral (frame size), idade declarada (meses), sistema de produção (pasto/confinamento), confinamento próprio ou boitel (modalidade na qual os animais são mantidos em confinamento de terceiros por meio de pagamento de diárias), tempo de confinamento, ingredientes da dieta (coprodutos), tempo de jejum alimentar, descanso para o abate, distância e tempo de transporte para frigorífico. O abate desses animais ocorreu em frigoríficos comerciais (Angelelli, VPJ Alimentos, Siltomac, Frivasa, JBS, CowPig, entre outros), localizados no estado de São Paulo, seguindo procedimentos normais de inspeção, sendo precedido de jejum de sólidos e líquidos dos animais por no mínimo 16 horas. As carcaças foram identificadas, lavadas, divididas em duas metades, sendo estas pesadas individualmente e levadas à câmara fria, por aproximadamente 24 horas, à temperatura de 1 °C.

As informações pós-abate coletadas foram: peso de carcaça quente, ossificação, acabamento (escore de 1-9); conformação (1-5); dentição, altura de cupim, P8 (espessura de gordura na garupa). Na região entre a 12^a e 13^a costela do contrafilé (músculo *longissimus thoracis*) e após 24 horas do abate foram analisados pH final, temperatura, cor da gordura e da carne (padrões Brazil Beef Quality - baseadas na metodologia da AUS-MEAT (2018), área de olho de lombo (AOL), escore de marmorização (USDA, 1997) e espessura de gordura subcutânea (EGS).

As carcaças selecionadas para a pesquisa foram amostradas no momento da desossa com obtenção do contrafilé (na região entre a 12^a e 13^a costela). Após a coleta, os cortes foram fracionados em formato de bife (7,5 x 15 x 2,5 cm) para experimentos de análise sensorial. As amostras foram identificadas levando em consideração a posição anatômica no corte. As amostras foram maturadas por 5 dias, e então congeladas em temperaturas inferiores a -20 °C.

No presente estudo, os 216 bovinos pertenciam as três diferentes classes sexuais, sendo: machos não-castrados (inteiros), machos castrados e fêmeas. A característica de carcaça utilizada na análise de correspondência de tripla entrada foi o escore de marmorização, que é uma característica que representa a quantidade de gordura intramuscular na carne bovina. Escores de marmorização são obtidos por meio de metodologia desenvolvida pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 1997), que propõe uma escala que varia de zero a 10, na qual zero representa gordura intramuscular ausente e 10 representa gordura intramuscular muito abundante. Esses valores são atribuídos por avaliador treinado por meio da observação do músculo *longissimusthoracis* (contrafilé) na carcaça. Na análise de correspondência de tripla entrada, o banco de dados de escore de marmoreio, obtido por avaliação no frigorífico, foi organizado nas seguintes classes de pontuação: escore de 100 a 200 (baixo); escore de 210 a 300 (médio); escore de 320 a 500 (alto).

Adicionalmente, outra característica utilizada na análise de correspondência de tripla entrada foi a ossificação das apófises espinhosas das cartilagens (vértebras), conforme metodologia descrita pelo AUS-MEAT (2018). Nesta, o formato e a cor dos ossos da costela são usados para determinar a pontuação. Essa característica aponta a idade fisiológica do animal e avalia a transformação de cartilagem em osso. A qualidade da carne declina com o aumento da ossificação, pois esta é associada com o aumento da idade do animal ou pela exposição a estresses nutricionais e sanitários. O banco de dados de ossificação, obtido por avaliação no frigorífico, foi organizado nas seguintes classes de pontuação: escore de 110 a 150 (baixo = oss1); escore de 160 a 180 (médio = oss2); escore de 190 a 400 (alto = oss3).

Por último, utilizou-se a característica acabamento para a análise de correspondência de tripla entrada. Essa característica representa o grau de deposição de gordura subcutânea na carcaça. O acabamento foi mensurado mediante observação da distribuição e quantidade de gordura subcutânea, em locais diferentes da carcaça, estabelecendo-se escores de 1 a 9. De maneira geral, no banco de dados esses escores representaram: gordura escassa (escore ≤ 4); gordura mediana menos (escore 5); gordura mediana mais (escore 6); e gordura uniforme (escore ≥ 7).

3.2.1.2 Teste sensorial de qualidade de carne bovina

A suculência, a maciez e a satisfação geral foram as características de qualidade de carne do teste sensorial escolhidas para a análise de correspondência de tripla entrada. Para participação do teste sensorial, os consumidores assinaram termo de consentimento livre e esclarecido (aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa) e declararam idade entre 18 a 70 anos. Os participantes consumiam carne bovina pelo menos uma vez por semana e tinham preferência por carnes preparadas ao ponto. Os testes sensoriais foram realizados preferencialmente entre as 9 e 11 hs, e entre as 14 e 18 hs, evitando momentos que os provadores estavam com maior apetite ou muito saciados (ambos indesejáveis na pesquisa). Essa codificação de horário foi estipulada para que os consumidores participantes do teste sensorial não atribuísem notas não representativas em função do seu apetite.

Os consumidores selecionados para o teste sensorial preencheram um questionário com questões socioeconômicas (ABEP, 2018), em seguida receberam formulários para avaliações das carnes em escala hedônica semi-estruturada para maciez, suculência, sabor/aroma (flavour) e satisfação geral. Todos os consumidores receberam 7 amostras. A primeira amostra servida aos consumidores foi igual para todos (uma das seis amostras do experimento, como ponto de referência - standardised benchmark), seguidas pelas seis amostras de cada animal.

Em cada sessão haviam 12 consumidores (seis pares), divididos em dois grupos (G1 e G2) de 6 consumidores. O grupo 2 foi uma repetição do primeiro grupo para aumentar a precisão da estimativa da variância do erro. Em cada sessão foi analisado amostras de 6 animais, acumulando 6 sessões por dia, totalizando 36 amostras/dia. As amostras foram selecionadas aleatoriamente dentro de cada tratamento (característica de carcaça e classe sexual) no total de 216 amostras disponíveis. Em cada sessão foram agrupadas amostras de animais com características de carcaças semelhantes para peso e espessura de gordura.

Na análise de análise de correspondência de tripla entrada, o banco de dados desuculência, maciez e satisfação geral, características obtidas no teste sensorial, foi organizadas seguintes classes de pontuação: 0 a 20 (1); 21 a 40 (2); 41 a 60 (3); 61 a 80 (4); e 81 a 100 (5).

3.2.2 Análise de Correspondência de Tripla Entrada

Com a análise de correspondência tridirecional é possível produzir boas medidas e exibições gráficas da dependência em tabelas tridimensionais, e ela compartilha e estende muitas propriedades da análise de correspondência comum (bidirecional) (Carlier, 1996).

O modelo mais básico para uma tabela de contingência de três entradas é o modelo de independência completo, em que as proporções na tabela podem ser reproduzidas a partir das proporções marginais das linhas, colunas e tubos, e com a remoção da tabela da parte que pode ser explicada pelo modelo de independência, restam as interações ou a dependência total entre as três variáveis (Kroonenberg, 2008).

Segundo Kroonenberg (2008), a dependência nas tabelas de tripla entrada pode ser dividida em 4 tipos de medidas:

- 1 Dependência total
- 2 Dependência marginal
- 3 Dependência de três entradas
- 4 Dependência parcial

As variáveis podem ser assimetricamente relacionadas (quando uma variável é uma variável de resposta lógica para as outras) ou simetricamente relacionadas (tal que cada variável pode influenciar as

outras). Cada uma delas requer primeiro uma partição de suas medidas relevantes de associação e, em seguida, uma decomposição para quantificar e retratar a associação categorial (Beh e Lombardo, 2014).

Para medir as dependências quando as variáveis são assimetricamente correlacionadas, como é o caso dos dados usados nesse capítulo, o mais indicado é utilizar o índice de Marcotorchino (Beh e Lombardo, 2014).

Segundo Beh e Lombardo (2014) o índice de Marcotorchino, representa a generalização de três vias da medida de previsibilidade proposta por Goodman (1954), que está no centro da análise de correspondência não simétrica (quando a análise de correspondência é aplicada a variáveis assimétricas).

Beh et al. (2007) explica que a partição do índice de Marcotorchino segue uma soma de chi-quadrado, como explanado abaixo:

$$\begin{aligned}
 C_M &= (n-1)(I-1)\tau_M \\
 &= (n-1)(I-1)\tau_{IJ} + (n-1)(I-1)\tau_{IK} + (n-1)(I-1)\tau_{res} + \frac{(n-1)(I-1)\mathbf{X}_{JK}^2}{1 - \sum_{i=1}^I p_{i.}^2} \\
 &= C_{M_{IJ}} + C_{M_{IK}} + C_{M_{JK}} + C_{M_{res}} \\
 &\sim \chi^2(\mathbf{I}, \mathbf{J})_{\alpha, df} + \chi^2(\mathbf{I}, \mathbf{K})_{\alpha, df} + \chi^2(\mathbf{J}, \mathbf{K})_{\alpha, df} + \chi^2(res)_{\alpha, df}
 \end{aligned}$$

o termo $C_{M_{ij}}$ é equivalente a estatística C entre as variáveis resposta (linhas) e o preditor (coluna) após ser agregada a categoria tubo; $C_{M_{ij}}$ pode ser usada para determinar se existe uma previsão significativa das linhas, dadas as categorias da coluna; seguindo a mesma ideia, a estatística $C_{M_{ik}}$ pode ser usada para testar a predição das colunas, dadas as categorias do tubo; a estatística $C_{M_{jk}}$, a associação entre os preditores coluna e tubo formada pela agregação em cada uma das categorias de linha e df os graus de liberdade. Mais detalhes sobre a partição de Marcotorchino podem ser encontrados em Beh et al. (2007) e Beh e Lombardo (2014).

Dadas as medidas de dependência total, dependência marginal e dependência de três vias, um modelo para essas medidas deve ser encontrado para permitir construir gráficos representando a dependência (Kroonenberg, 2008) e neste capítulo foi utilizado o modelo de Tucker3, apresentado por Reis et al. (2010) como:

$$Z_{ijk} = \left(\sum_{p=1}^P \sum_{q=1}^Q \sum_{r=1}^R a_{ip} b_{jq} c_{kr} g_{pqk} \right) + e_{ijk}$$

em que a_{ip} , b_{jq} e c_{kr} representam os elementos das matrizes componentes $\mathbf{A}$ de dimensão $I \times P$, $\mathbf{B}$ de dimensão $J \times Q$ e $\mathbf{C}$ de dimensão $K \times R$, respectivamente; g_{pqk} é o elemento $(p; q; r)$ do arranjo núcleo $\mathbf{G}$ de dimensão $P \times Q \times R$; e e_{ijk} é o erro experimental.

Diversos programas foram desenvolvidos baseando-se nos algoritmos de Tucker (1966) para resolver modelos de três entradas (Kroonenberg e De Leeuw, 1980), no entanto, esses algoritmos não eram baseados em mínimos quadrados, com isso, um novo algoritmo referido como TUCKALS3 foi apresentado por Kroonenberg e De Leeuw (1980), como apresentada abaixo, seguindo as ideias explanadas por García-Peña et al. (2016):

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K (Z_{ijk} - \hat{Z}_{ijk})^2 = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \left(Z_{ijk} - \sum_{p=1}^P \sum_{q=1}^Q \sum_{r=1}^R a_{ip} b_{jq} c_{kr} g_{pqk} \right)^2$$

TUCKALS3 tem como objetivo representar cada entrada da melhor maneira possível formando combinações lineares com os níveis de cada modo com um número reduzido de dimensões (García-Peña et al., 2016).

3.2.3 Representação Gráfica

A representação gráfica utilizada neste capítulo foi o biplot interativo, descrito em Beh e Lombardo (2014) e por Kroonenberg (2008) como "nested-mode biplot". Segundo Beh e Lombardo (2014) o biplot interativo é a maneira que permite retratar três modos em um único biplot.

3.2.4 Software

O software utilizado para o desenvolvimento do trabalho foi o R (R Core Team, 2019), no qual existem pacotes para a análise de correspondência de tripla entrada por modelo de Tucker3, no caso foi utilizado o pacote "CA3variants" elaborado por Lombardo e Beh (2018).

3.2.5 Resultados e Discussão

3.2.5.1 Análise dos fatores classe sexual e marmoreio

A análise de correspondência de tripla entrada não-simétrica (Figura 3.1) foi conduzida para medir o aumento da previsibilidade e verificar a significância estatística da associação da suculência (Su) da carne avaliada por consumidores em teste sensorial, considerando a influência de características como marmoreio (escore de gordura intramuscular) e classe sexual (fêmea, macho castrado e macho inteiro) dos animais. Nesta abordagem, estabeleceu-se inicialmente que as variáveis marmoreio e classe sexual poderiam ser preditoras que impactam nas respostas da variável satisfação geral, sendo utilizado o índice de Marcotorchino para mensurar as associações.

Observou-se evidências que demonstram que as variáveis marmoreio e classe sexual dos animais podem influenciar a suculência da carne bovina (Figura 3.1). O escore de marmoreio Médio (210 a 300) juntamente com a classe macho castrado (Mc) foram associados a maior suculência da carne consumida (Su5). O biplot interativo da análise de correspondência de tripla entrada permitiu ainda verificar que alguns consumidores avaliados preferiram carnes provenientes de animais castrados e com baixo escore de marmoreio (BaixoMc). No entanto, o biplot interativo também indicou que a pior satisfação dos consumidores (Su1 e Su2) foi mais associada a carne de animais fêmeas (F) de médio escore de marmoreio.

Esses resultados indicam que o consumidor participante do teste sensorial foi mais eficiente em associar a suculência com o marmoreio da carne (metodologia AUS-Meat) do que com a classe sexual dos animais. A literatura descreve que as características relacionadas à deposição de gordura intramuscular em bovinos podem influenciar positivamente nos atributos sensoriais da carne, incluindo: gosto, sabor, suculência e maciez (Hocquette et al., 2010). Resultados similares foram observados no presente estudo, no qual a maior suculência (Su5) foi associada pelos consumidores aos maiores escore de marmoreio da carne. O teor de gordura intramuscular está bastante relacionado com a satisfação do consumidor, todavia, a aceitação global parece atingir um patamar ótimo entre 3 e 7% de teor de lipídios na porção intramuscular, segundo estudos com consumidores europeus (Font-i Furnols e Guerrero, 2014; Hunt et al., 2014). Esses percentuais de gordura intramuscular são comumente observados em carnes com alto escore de marmoreio, tais como as classificadas como marmoreio Alto (320 a 500) no banco de dados de teste sensorial do presente estudo.

A concentração de gordura intramuscular (avaliada no corte contrafilé, músculo Longissimus thoracis et lumborum) em animais Nelore (*Bos taurus indicus*), por exemplo, varia com o grau de maturidade do animal, atingindo comumente teores entre 2 e 3% (Oliveira et al., 2012; Baldassini et al., 2017), embora valores acima de 4% também foram descritos na literatura para animais zebuínos (Pflanzer e de Felício, 2011). Em bovinos, a deposição do tecido adiposo intramuscular é resultado de diversos fatores como: manejo alimentar, nutrição, sexo, idade e genótipo. Em países como Coreia, Japão, Austrália e estados Unidos a gordura intramuscular é bastante valorizada (Park et al., 2018). O teor de gordura e

Figura 3.1. Biplot interativo da análise de correspondência de tripla entrada (coluna-tubo) não-simétrica de dados de suculência da carne bovina, avaliada por consumidores em teste sensorial, considerando a influência dos fatores marmoreio e classe sexual dos animais (36 opiniões para cada combinação). Legenda: Pontuação de suculência da carne bovina (Su) = de 0 a 20 (Su1), de 21 a 40 (Su2), de 41 a 60 (Su3), de 61 a 80 (Su4) e de 81 a 100 (Su5). Escore de Marmoreio (gordura intramuscular da carne) = de 100 a 200 (Baixo), de 210 a 300 (Médio) e de 320 a 500 (Alto); Classe sexual : animal fêmea (F), macho castrado (Mc) e macho inteiro/não-castrado (Mi)

o perfil de ácidos graxos tem relação com o sabor (Calkins e Hodgen, 2007), mas também tem atraído o consumidor pelo seu possível efeito na saúde, já que alguns ácidos graxos são apontados como benéficos (anticarcinogênicos), tal como o ácido linoleico conjugado (CLA).

Considerando os dados analisados, a única variável preditora significativa da suculência da carne avaliada pelos consumidores foi o escore de marmoreio. Essa associação foi responsável por 31,14% do total da associação assimétrica mensurada por meio do τ_M (Tabela 3.1), pode-se verificar também que as duas variáveis preditoras, classe sexual e marmoreio, são independentes uma da outra, isso é evidente já que a medida de associação marginal relacionada χ_{JK}^2 é igual a zero.

Tabela 3.1. Particionamento do índice de Marcotorchino e estatísticas associadas a suculência (I), marmoreio (J) e sexo (K).

Medidas	τ_{IJ}	τ_{IK}	χ_{JK}^2	χ_{int}^2	τ_M
Numerador dos termos parciais	0.006	0.010	0	0.015	0.031
Índice	0.008	0.012	0	0.019	0.040
% de inércia	19.975	31.141	0	48.883	100.000
Estatística-C	10.286	16.035	0	25.171	51.492
Graus de liberdade	8.000	8.000	4	16.000	36.000
Valor-p	0.245	0.0418		0.0668	0.0454

3.2.5.2 Análise dos fatores classe sexual e ossificação

Outros fatores como a ossificação e classe sexual também foram utilizados na análise de correspondência de tripla entrada não-simétrica sobre a variável maciez da carne (Figura 3.2). Nesta abordagem, estabeleceu-se que as variáveis ossificação e classe sexual poderiam ser variáveis que impactam nas respostas da variável maciez avaliada pelos consumidores, sendo utilizado o índice Marcotorchino para mensurar essas associações.

Os resultados obtidos indicaram que as variáveis ossificação e classe sexual dos animais podem influenciar a maciez da carne bovina provada pelos consumidores (Figura 3.2). O baixo escore de ossificação (110 a 150, Oss1) juntamente com a classe macho castrado (Mc) foram associados a maciez sensorial (Ma4, 61 a 80 pontos) dos consumidores. Esses resultados sugerem que os consumidores avaliados pelo teste sensorial ficaram mais satisfeitos ao provarem a carne proveniente de animais machos castrados (Mc) e idade fisiológica jovem (Oss1). Adicionalmente, observou-se com obiplot interativo da análise de correspondência que alguns consumidores avaliados indicaram melhor maciez sensorial nas carnes provenientes de animais inteiros e jovens (Oss1Mi). Por outro lado, verificou-se que a pior pontuação de maciez (Ma1) também foi associada a carnes provenientes de animais jovens (Oss1).

Figura 3.2. Biplot interativo da análise de correspondência de tripla entrada (coluna-tubo) não-simétrica de dados de maciez da carne bovina, avaliada por consumidores em teste sensorial, considerando a influência dos fatores ossificação das apófises espinhosas das cartilagens (vértebras) e classe sexual dos animais (485 opiniões para cada combinação). Legenda: Pontuação de maciez(Ma) : de 0 a 20 (Ma1), de 21 a 40 (Ma2), de 41 a 60 (Ma3), de 61 a 80 (Ma4) e de 81 a 100 (Ma5). Ossificação da carcaça bovina : de 110 a 150 (baixo : Oss1), de 160 a 180 (médio : Oss2), de 190 a 400 (alto : Oss3); Classe sexual : animal fêmea (F), macho castrado (Mc) e macho inteiro/não-castrado (Mi)

Nessa comparação, os resultados indicaram que o consumidor de carne bovina do teste sensorial foi mais eficiente em associar a maciez sensorial com o fator classe sexual (macho castrado) do que com a ossificação da carcaça bovina. No contexto de maciez da carne, nos testes sensoriais do presente estudo o

consumidor parece não ter sido capaz de diferenciar a carne de animais jovens e com menor maturidade fisiológica (Oss1) das carnes dos animais mais velhos e com maturidade fisiológica avançada (Oss3). Essa percepção do consumidor observada no presente estudo sobre a classe sexual e qualidade da carne também tem sido alvo de diversos estudos que utilizaram animais machos castrados versus inteiros, e também fêmeas versus machos castrados.

Existem indícios que animais inteiros (não-castrados) tem maiores tendências a produzir carne com coloração não satisfatória, baixo teor de gordura intramuscular e com menor maciez (Nian et al., 2018). Esses atributos exercem influência direta na comercialização dos produtos cárneos e, consequentemente, a perda de valor agregado. É interessante para a cadeia produtiva da carne bovina considerar as preferências entre mercados dentro de cada segmento de consumidores, levando em conta os atributos de qualidade (coloração, maciez, teor de gordura intramuscular) e seus impactos na aceitação global e no valor nutricional da carne. Nos participantes do teste sensorial do presente estudo, observou-se com o biplot que embora existam aqueles consumidores que indicaram carnes mais macias (Ma4 e Ma5) provenientes de animais jovens e machos castrados (Oss1Mc), também foi possível verificar que não há grande discrepância daqueles que atribuíram melhor maciez a carne de animais jovens e machos inteiros (Oss1Mi).

Quando animais machos castrados versus não-castrados foram investigados, estudos reportaram que bovinos mestiços (Angus-Nelore) castrados produziram carne com melhores características de cor e maciez objetiva (medida por força de cisalhamento) quando comparados com não-castrados (inteiros), embora não tenham sido observadas diferenças em maciez sensorial (medida por teste sensorial). Nesses estudos, foram utilizados bovinos Nelore puros com idade inicial de 24 meses (Martínez et al., 2017; Andreo et al., 2016) ou bovinos Angus-Nelore (Miguel et al., 2014) de mesma idade, ambos terminados em confinamento por no máximo 90 dias.

Nesse cenário, a variável preditora significativa que mais influenciou a maciez sensorial avaliada pelos consumidores foi a classe sexual. Essa associação foi responsável por 27,86% do total da associação assimétrica mensurada por meio do τ_M (Tabela 3.2) e as duas variáveis, classe sexual e ossificação, são independentes uma da outra, que pode ser deduzido já que a medida de associação marginal relacionada χ^2_{JK} é igual a zero.

Tabela 3.2. Particionamento do índice de Marcotorchino e estatísticas associadas a maciez (I), ossificação (J) e sexo (K).

Medidas	τ_{IJ}	τ_{IK}	χ^2_{JK}	χ^2_{int}	τ_M
Numerador dos termos parciais	0.001	0.001	0	0.002	0.004
Índice	0.001	0.001	0	0.003	0.005
% da inércia	15.891	27.863	0	56.246	100.000
Estatística-C	13.607	23.860	0	48.164	85.631
Graus de liberdade	8.000	8.000	4	16.000	36.000
Valor-p	0.0926	0.0024		< 0.0001	< 0.0001

3.2.5.3 Análise dos fatores classe sexual e acabamento de carcaça

Utilizou-se os fatores escore de gordura da carcaça (acabamento) e classe sexual na análise de correspondência de tripla entrada não-simétrica sobre a variável satisfação geral do teste sensorial (Figura 3.3). De forma semelhante, nesta abordagem foi verificado se as variáveis acabamento e classe sexual influenciariam nas respostas da satisfação geral dos consumidores de carne bovina, sendo utilizado o índice de Marcotorchino para mensurar tais associações. A aplicação da análise de correspondência indicou que a combinação das variáveis acabamento e classe sexual dos animais influenciaram a satisfação geral dos consumidores de carne bovina. Nesse cenário, a variável preditora significativa que mais influenciou a

satisfação geral dos consumidores foi o acabamento. Essa associação foi responsável por 43,66% do total da associação assimétrica mensurada por meio do τ_M (Tabela 3.3) e assim como nos casos anteriores as duas variáveis preditoras, classe sexual e acabamento, são independentes uma da outra, χ^2_{JK} é igual a zero.

Tabela 3.3. Particionamento do índice de Marcotorchino e estatísticas associadas a satisfação geral (I), acabamento (J) e sexo (K).

Medidas	τ_{IJ}	τ_{IK}	χ^2_{JK}	χ^2_{int}	τ_M
Numerador dos termos parciais	0.001	0.004	0	0.004	0.009
Índice	0.002	0.005	0	0.005	0.011
% de inércia	14.333	43.665	0	42.002	100.000
Estatística-C	14.439	43.987	0	42.311	100.737
Graus de liberdade	12.000	8.000	6	24.000	50.000
Valor-p	0.2735	< 0.0001		< 0.0001	< 0.0001

O escore de acabamento mediano mais (Med+) e uniforme (Uni) juntamente com a classe sexual macho castrado (Mc) ficaram bem próximos da satisfação geral S5 (81 a 100 pontos) e S4 (61 a 80 pontos) dos consumidores, respectivamente (Figura 3.3). Esses resultados sugerem que os consumidores avaliados pelo teste sensorial ficaram mais satisfeitos ao provarem a carne de animais machos castrados (Mc) e com bom grau de deposição de gordura na carcaça (escore de acabamento 6 ou ≥ 7). Por outro lado, embora não tão evidente, observou-se com o biplot interativo da análise de correspondência que os consumidores demonstraram menor satisfação geral (S1 e S2) em resposta as carnes de animais machos castrados com menor grau de acabamento na carcaça (EscMc). Essa percepção do consumidor observada no presente estudo sobre os fatores classe sexual e acabamento de gordura na carcaça pode ser explicada pela função dessas características sobre a qualidade da carne bovina. Os animais têm sido castrados com o objetivo principal de assegurar a deposição de gordura na carcaça.

Figura 3.3. Biplot interativo da análise de correspondência de tripla entrada (coluna-tubo) não-simétrica de dados de teste sensorial de satisfação geral dos consumidores de carne bovina, considerando os fatores acabamento de gordura na carcaça e classe sexual dos animais (190 opiniões para cada combinação). Legenda: Pontuação de satisfação geral (S) : de 0 a 20 (S1), de 21 a 40 (S2), de 41 a 60 (S3), de 61 a 80 (S4) e de 81 a 100 (S5). Escore de gordura subcutânea na carcaça : 4 ou escassa (Esc), 5 ou mediana menos (Med-), 6 ou mediana mais (Med+), 7 ou gordura uniforme (Unif). Classe sexual : animal fêmea (F), macho castrado (Mc) e macho inteiro/não-castrado (Mi)

Nas fazendas de produção, a utilização de bovinos machos inteiros (não-castrados) pode proporcionar algumas vantagens como um maior desenvolvimento muscular e peso de carcaça, entretanto, tais vantagens podem ter importância reduzida devido à depreciação do seu valor comercial ocasionado pela ausência ou pouco grau de acabamento, apresentada nas carcaças de animais inteiros. Os frigoríficos exigem animais que produzam carcaças com espessura de gordura subcutânea de no mínimo 4 milímetros (mm). Isso ocorre porque as carnes oriundas de carcaças com pouca gordura subcutânea são mais susceptíveis ao encurtamento pelo frio (cold shortening) durante armazenagem na câmara frigorífica (1 °C), resultando em menor maciez, principalmente quando resfriadas rapidamente (Chardulo et al., 2013). A proteção da carcaça durante o resfriamento, é ocasionada pela quantidade de gordura que o animal depositou durante período de vida, pois esta atua como isolante térmico e evita o encurtamento pelo frio.

Sobre o aspecto sensorial e de qualidade de carne, o maior grau de deposição de gordura na carcaça bovina pode garantir também maior deposição de gordura intramuscular na carne, considerando a correlação significativa ($r=0,27$; $p<0,001$) dessas características (Baldassini et al., 2017). A percepção sensorial da suculência e satisfação do consumidor são positivamente influenciadas pela quantidade de gordura intramuscular. Esses fatores ajudam a explicar as maiores pontuações de satisfação geral associadas a carne provenientes de animais castrados e que produziram carcaças com acabamento 6 e 7 (UnifMc e Med+Mc, respectivamente) observadas no presente estudo. No mesmo contexto, carnes com mais gordura intramuscular obtiveram maiores pontuações por parte dos consumidores para maciez, sa-

bor e suculência, explicando a preferência por cortes que apresentam maior teor de gordura, bem como os maiores preços atribuídos a estes (Warner, 2017).

3.2.6 Conclusão

A análise de correspondência de tripla entrada foi importante para identificar as associações entre características de carcaça, qualidade de carne e opinião do consumidor obtida por teste sensorial. Foi possível avaliar os efeitos das variáveis classe sexual e marmoreio sobre a característica suculência. De modo similar, verificou-se as associações existentes entre as variáveis ossificação e classe sexual sobre a maciez da carne. Por fim, essa abordagem permitiu avaliar a combinação de características como acabamento e classe sexual sobre a satisfação geral dos consumidores de carne bovina.

O gráfico biplot facilitou o estabelecimento das relações deixando mais evidente os fatores e classes que influenciaram na opinião do consumidor.

Referências

- ABEP, Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa. (2018). Brasil, critério de classificação econômica and filiadas, be. *http://www.abep.org. Acesso em*, 25(10):2011.
- Andreo, N., Bridi, A. M., Soares, A. L., Prohmann, P. E. F., Peres, L. M., Tarsitano, M. A., de Lima Gigangareli, B., e Takabayashi, A. A. (2016). Fatty acid profile of beef from immunocastrated (bopriva®) nellore bulls. *Meat science*, 117:12–17.
- AUS-MEAT, M. L. A. M. (2018). *Handbook of australian beef processing. The Aus-Meat language*.
- Baldassini, W., Chardulo, L., Silva, J., Malheiros, J., Dias, V., Espigolan, R., Baldi, F., Albuquerque, L., Fernandes, T., e Padilha, P. (2017). Meat quality traits of nellore bulls according to different degrees of backfat thickness: a multivariate approach. *Animal Production Science*, 57(2):363–370.
- Beh, E. J. e Lombardo, R. (2014). *Correspondence analysis: theory, practice and new strategies*, chapter Symmetrical and non-symmetrical three-way correspondence analysis, pages 451–515. John Wiley & Sons.
- Beh, E. J., Simonetti, B., e D'Ambra, L. (2007). Partitioning a non-symmetric measure of association for three-way contingency tables. *Journal of Multivariate Analysis*, 98(7):1391–1411.
- Bernués, A., Ripoll, G., e Panea, B. (2012). Consumer segmentation based on convenience orientation and attitudes towards quality attributes of lamb meat. *Food Quality and Preference*, 26(2):211–220.
- Calkins, C. R. e Hodgen, J. M. (2007). A fresh look at meat flavor. *Meat science*, 77(1):63–80.
- Carlier, André; Kroonenberg, P. M. (1996). Decompositions and biplots in three-way correspondence analysis. *Psychometrika*, 61(2):355–373.
- Cerjak, M., Karolyi, D., e Kovačić, D. (2011). Effect of information about pig breed on consumers' acceptability of dry sausage. *Journal of sensory studies*, 26(2):128–134.
- Chardulo, L. A. L., Silveira, A. C., e Vianello, F. (2013). Analytical aspects for tropical meat quality assessment. In *Food Quality, Safety and Technology*, pages 53–62. Springer.
- Font-i Furnols, M. e Guerrero, L. (2014). Consumer preference, behavior and perception about meat and meat products: An overview. *Meat science*, 98(3):361–371.

- García-Peña, M., Arciniegas-Alarcón, S., Basford, K., e Dias, C. (2016). Analysis of sunflower data from a multi-attribute genotype $\times$ environment trial in brazil. *Communications in Biometry and Crop Science* 11, pages 127–139.
- Goodman, L.-K. (1954). Wh: Measures of association for cross classifications. *Journal of American Statistical Association*, 49:732–764.
- Greenacre, M. J. (1984). *Correspondence analysis*. London: Academic Press.
- Guàrdia, M. D., Aguiar, A. P., Claret, A., Arnau, J., e Guerrero, L. (2010). Sensory characterization of dry-cured ham using free-choice profiling. *Food Quality and Preference*, 21(1):148–155.
- Hocquette, J., Gondret, F., Baéza, E., Médale, F., Jurie, C., e Pethick, D. (2010). Intramuscular fat content in meat-producing animals: development, genetic and nutritional control, and identification of putative markers. *Animal*, 4(2):303–319.
- Hunt, M. R., Garmyn, A. J., O’Quinn, T. G., Corbin, C. H., Legako, J. F., Rathmann, R. J., Brooks, J. C., e Miller, M. F. (2014). Consumer assessment of beef palatability from four beef muscles from usda choice and select graded carcasses. *Meat science*, 98(1):1–8.
- Kessler, F., Nielsen, M. B. R., Tøstesen, M., Duelund, L., Clausen, M. P., e Giacalone, D. (2019). Consumer perception of snack sausages enriched with umami-tasting meat protein hydrolysates. *Meat science*, 150:65–76.
- Kroonenberg, P. M. (2008). *Applied multiway data analysis*, volume 702. John Wiley & Sons.
- Kroonenberg, P. M. e De Leeuw, J. (1980). Principal component analysis of three-mode data by means of alternating least squares algorithms. *Psychometrika*, 45(1):69–97.
- Kuttappan, V., Lee, Y., Erf, G., Meullenet, J.-F., McKee, S., e Owens, C. (2012). Consumer acceptance of visual appearance of broiler breast meat with varying degrees of white striping. *Poultry Science*, 91(5):1240–1247.
- Lombardo, R. e Beh, E. J. (2018). Three-way correspondence analysis variants. *R package version*.
- Marcotorchino, F. (1985). Utilisation des comparaisons par paires en statistique des contingences: Partie iii.
- Martínez, R., Bejarano, D., Gómez, Y., Dasoneville, R., Jiménez, A., Even, G., Sölkner, J., e Mészáros, G. (2017). Genome-wide association study for birth, weaning and yearling weight in colombian brahman cattle. *Genetics and molecular biology*, 40(2):453–459.
- Miguel, G. Z., Faria, M. H., Roça, R. O., Santos, C. T., Suman, S. P., Faitarone, A. B., Delbem, N. L., Girao, L. V., Homem, J. M., Barbosa, E. K., et al. (2014). Immunocastration improves carcass traits and beef color attributes in nellore and nellore $\times$ aberdeen angus crossbred animals finished in feedlot. *Meat Science*, 96(2):884–891.
- Oliveira, E. A., Sampaio, A. A. M., Henrique, W., Pivaro, T. M., Rosa, B. L., Fernandes, A. R. M., e Andrade, A. T. (2012). Quality traits and lipid composition of meat from nellore young bulls fed with different oils either protected or unprotected from rumen degradation. *Meat Science*, 90(1):28–35.
- Oury, M., Agabriel, J., Agabriel, C., Micol, D., Picard, B., Blanquet, J., Labouré, H., Roux, M., e Dumont, R. (2007). Relationship between rearing practices and eating quality traits of the muscle rectus abdominis of charolais heifers. *Livestock Science*, 111(3):242–254.

- Park, S. J., Beak, S.-H., Da Jin Sol Jung, S. Y., Kim, I. H. J., Piao, M. Y., Kang, H. J., Fassah, D. M., Na, S. W., Yoo, S. P., e Baik, M. (2018). Genetic, management, and nutritional factors affecting intramuscular fat deposition in beef cattle: a review. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 31(7):1043.
- Pflanzer, S. B. e de Felício, P. E. (2011). Moisture and fat content, marbling level and color of boneless rib cut from nellore steers varying in maturity and fatness. *Meat Science*, 87(1):7–11.
- Purslow, P., Cepeda, R., Cáfferro, E., Garitta, L., Sosa, M., Frank, D., Duizer, L., Ngapo, T., Bruce, H., Nassu, R., e Henchion, M. (2017). Differences in consumer perceptions of meat quality. In Troy, D., M. C. H. L.-K. J., editor, *63rd International Congress of Meat Science and Technology*. Wageningen Academic Publishers.
- R Core Team (2019). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Reis, M. M., Reis, M. G., Luz, C. C., Bastos, W. R., e Yamashita, M. (2010). Aplicação do modelo tucker-3 para a análise da biodegradação de diesel. *Quim. Nova*, 33(7):1464–1470.
- Tucker, L. R. (1966). Some mathematical notes on three-mode factor analysis. *Psychometrika*, 31(3):279–311.
- USDA (1997). Official united states standards for grades of carcass beef.
- Warner, R. D. (2017). The eating quality of meat: water-holding capacity and juiciness. In *Laurie's Meat Science*, pages 419–459. Elsevier.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação do modelo *multiway* Tucker3 em pesquisas que investigaram as preferências dos consumidores de carne bovina facilitou o entendimento das interações existentes entre as variáveis estudadas. As representações gráficas das interações existentes por meio do *joint plot* demonstraram ser ferramentas que auxiliam na descrição e predição das informações, considerando a combinação das variáveis obtidas sobre os animais, características de carcaça e carne, juntamente com aquelas provenientes de testes sensoriais com consumidores. De maneira geral, essa abordagem *multiway* sobre os dados podem servir para direcionar melhorias nos sistemas de produção e indústria frigorífica.

No presente estudo, a representação gráfica por meio do *joint plot* permitiu observar interações sobre as variáveis ossificação, classe sexual e cor da carne, fatores estes que ajudaram a explicar as diferenças de qualidade (maciez sensorial) entre animais castrados versus inteiros. Utilizando o primeiro componente (ossificação), foi possível indicar que carnes de cores mais escuras foram mais associadas ao fator macho inteiro. No entanto, quando se utiliza o segundo componente (i.e. cor da carne) na projeção, os dados não foram eficientemente separados. Por isso, mais estudos são necessários para entender porque essas mudanças ocorrem no contexto estatístico e biológico.

Por fim, a análise de correspondência de tripla entrada somada ao modelo Tucker3 foi importante para identificar as associações biológicas entre características de carcaça, qualidade de carne e opinião do consumidor. Tal abordagem permitiu avaliar a combinação de características como acabamento e classe sexual sobre a satisfação geral dos consumidores. Adicionalmente, a representação gráfica facilitou o estabelecimento das relações existentes entre as variáveis, deixando mais evidente os fatores e classes que parecem ter maior influência na opinião do consumidor de carne bovina, tais como classe sexual dos bovinos e escore de marmoreio.

5 TRABALHOS FUTUROS

Com o objetivo de dar continuidade a esse estudo seria interessante o desenvolvimento dos seguintes assuntos:

- Propor uma metodologia para quando o número de níveis de um fator é diferente de uma fatia para outra;
- Utilizar a análise multiway aliada a análise bayesiana para solução de problemas envolvendo interação tripla;
- Propor metodologia para estudo da interação tripla multiatributo, por exemplo genótipo x ambiente x ano avaliada a multiatributos.