

UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

Avaliação da composição e da qualidade da carcaça e da carne de animais de produção: utilização de metodologias não invasivas e não destrutivas

Tese de Doutoramento em Ciência Animal

Ana Catharina dos Santos Batista

Orientador: Professor Doutor Severiano José da Rocha Cruz e Silva

Co-orientador: Professor Doutor Divanildo Outor Monteiro



Vila Real, 2017

UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

**Avaliação da composição e da qualidade da carcaça e da carne de animais
de produção: utilização de metodologias não invasivas e não destrutivas**

Tese de Doutoramento em Ciência Animal

Ana Catharina dos Santos Batista

Orientador: Professor Doutor Severiano José da Rocha Cruz e Silva

Co-orientador: Professor Doutor Divanildo Outor Monteiro

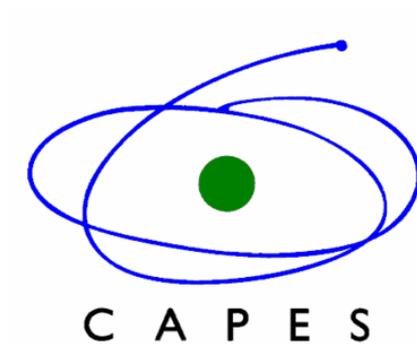
Composição do Júri:

Vila Real, 2017

Este trabalho foi expressamente elaborado como tese original para o efeito de obtenção do grau de Doutor em Ciência Animal.

Este trabalho foi apoiado pela CAPES- Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

(Processo 1052/13-6)



Dedico

*Aos meus pais **Luiz Marciano** e **Rejane Cristina**, por acreditar em mim, por me incentivar e pelo amor incondicional.*

Ofereço

*Aos meus irmãos **Raphael** e **Raphaella**, pelo amor, torcida e energia*

A maior dádiva para o estudante é o saber adquirido, nenhum outro dom faria valer a pena tanto esforço e dedicação – Jéni Quintal

Agradecimentos

No final deste ciclo gostaria de agradecer a todos que de alguma forma contribuíram para que fosse possível atingir esta meta:

Ao meu orientador e amigo, Professor Associado com Agregação Severiano José da Rocha Cruz e Silva pela oportunidade de aprendizado, crescimento e orientação. Serei eternamente grata pela paciência e compreensão, pelos ensinamentos e pela disposição em contribuir com o desenvolvimento desta pesquisa e com minha evolução.

Ao meu co-orientador, Professor Doutor Divanildo Outor Monteiro, expresseo o meu muito obrigado. Pela receptividade no primeiro contacto e pela oportunidade que me deu de realizar uma parte importante na minha vida. Obrigada pelo apoio, incentivo e orientação.

Ao Professor José Manuel de Melo Henriques Almeida, pela disposição e simpatia na recolha das imagens fotográficas.

A Professora Doutora Cristina Guedes, Professor Doutor Alfredo Teixeira, Professora Doutora Virgínia Santos, Professor Doutor Jorge Azevedo, pela colaboração e boa disposição demonstrados na contribuição do Capítulo 5 (E-book).

A todos os elementos do Laboratório de Nutrição agradeço pela forma amável e bem-disposta com que receberam, bem como a disponibilidade que sempre demonstraram.

À Coordenação de Pessoal de Nível Superior- CAPES, pela bolsa concedida e realização desta conquista na minha carreira profissional.

A todos os meus colegas e amigos, dentro e fora da Universidade, dentro e fora de Portugal, quero agradecer todo o apoio e incentivo. Destes, agradeço ainda de forma particular:

As meninas do gabinete, Antonieta Alvarado, Ana Faustino, Tânia Martins e Magda Moutinho, que me acompanharam nas lutas diárias. Obrigada pela torcida, confiança e alegria compartilhada.

À Gisele F., Humberto Lopes e Pedro Gomes, obrigada pelas conversas, ajuda e consolo nos momentos difíceis.

Às minhas grandes amigas Giselle, Mônica, Luana Paula, Jussara e Sabrina, que me amam e apoiam apesar da minha ausência.

Ao meu cão amado Hércules, a minha fonte inesgotável de energia.

Resumo

Na última década tem havido uma crescente preocupação com a obtenção de informação sobre a composição e qualidade das carcaças, de peças e da carne. Esta preocupação está relacionada com a possibilidade de desenvolver um sistema de pagamento dos produtos com base no seu valor (do inglês *value-based payment and marketing systems*). Para isso têm sido desenvolvidas e aplicadas técnicas não invasivas e não destrutivas sobretudo baseadas na imagem. É neste panorama que se enquadra a presente tese e no qual será dado destaque às técnicas de ultrassonografia em tempo real (do inglês *real time ultrasonography*- RTU) e análise de imagem vídeo (do inglês *video image analysis*- VIA) aplicadas à estimativa da composição e qualidade da carcaça e da carne de bovinos, suínos e ovinos. O presente trabalho está organizado em três partes.

Na Parte I foi elaborada uma breve revisão sobre a utilização da RTU para estimar a gordura intramuscular (do inglês *intramuscular fat*- IMF), seguida de trabalho experimental em que foram obtidas imagens de RTU de amostras do músculo *Longissimus thoracis et lumborum* (LTL) de bovinos (n=54), usando um scanner de RTU equipado com uma sonda de 7,5 MHz. A IMF química foi determinada em laboratório. As imagens RTU foram submetidas à análise de imagem por computador para determinar as características das partículas de marmoreado. Foram realizadas regressões simples e múltiplas entre a IMF química (Y) e as características das partículas de marmoreado determinadas por RTU (X). Com esta metodologia foi possível explicar 93% da variação da IMF do músculo LTL.

A Parte II contém uma revisão de literatura sobre a aplicação de sistemas VIA em carcaças seguido de trabalhos experimentais. Relativamente aos capítulos envolvendo o sistema VIA, foram utilizados dois trabalhos. Um com trinta cordeiros da raça autóctone Churra Galega Mirandesa e outro com cinquenta e cinco carcaças de cordeiros da raça Churra da Terra Quente. Em ambos os trabalhos foram obtidas imagens usando uma câmara digital com sensor de 8 megapixels. Foram registadas medições de área (A), perímetro (P), comprimento (L), largura (W) e ângulo (Ang). Foram realizadas análises de regressão passo a passo (*Stepwise*) para estimar a composição da carcaça em tecidos e peças para ambos pesos e rendimentos usando as medições VIA e o peso de carcaça fria (PCF) como variáveis independentes. Nestes trabalhos

foi possível verificar que é possível explicar a maior parte ($R^2 > 0,80$) da variação do peso das peças e da composição das carcaças de cordeiros leves. Todavia, para a estimativa de rendimentos ou proporções verificou-se que os resultados não foram tão expressivos. O melhor modelo para explicar a variação do peso do músculo incluiu o PCF e uma medição VIA e explica cerca de 98% dessa variação. Os modelos desenvolvidos para estimar o rendimento dos tecidos na carcaça utilizando o PCF e medições VIA têm precisão moderada, com valores de R^2 variando entre 0,472 a 0,731 ($P < 0,01$).

Na Parte III foi elaborada uma breve revisão sobre a utilização do VIA para avaliar a IMF, acompanhado de trabalhos experimentais em que se estima a IMF e características físico-químicas da carne de bovino e ainda se analisa a cor do músculo LTL de bovinos e de suínos. Para estimar a IMF e as características físico-químicas da carne foram determinadas as características físico-químicas como a mioglobina, capacidade de retenção de água, comprimento dos sarcômeros, força de corte (WBSF), colagénio total, parâmetros de cor, pH final e a IMF em 106 amostras do músculo LTL de bovinos mestiços. Coeficientes de correlação e de determinação foram estabelecidos entre as variáveis obtidas por um sistema VIA simples e as características físico-químicas da carne bem como com a IMF. Com a IMF obtida por imagem e as características físico-químicas da carne e a IMF foi possível explicar a IMF e a WBSF em 92% ($DPR = 0,45$; $P < 0,001$) e 82% ($DRP = 0,63$; $P < 0,001$), respectivamente. Para avaliar a relação entre os valores de cor da carne de bovinos e suínos no espaço CIELab foram utilizadas 89 amostras do músculo LTL de bovinos e 110 amostras LTL de suínos. As características colorimétricas L^* (luminosidade), a^* (vermelho) e b^* (amarelo) foram medidas através de dois processos: por colorimetria, com um colorímetro Minolta CR-10 e com um sistema de visão assistida por computador (VAC). Relativamente aos parâmetros de cor, as equações de regressão foram sempre maiores para os bovinos em todos os parâmetros avaliados com valores de R^2 variando entre 0,771 e 0,911. Os resultados observados nesta tese sugerem que a RTU associada a análise de imagem foi uma ferramenta valiosa para estimar a IMF química do músculo LTL sem destruir a costeleta; e que os resultados envolvendo o sistema VIA sustentam as conclusões de outros trabalhos sobre a capacidade do sistema VIA em estimar os cortes primários, a composição da carcaça em tecidos e a gordura intramuscular.

Palavras-Chave: análise de imagem vídeo, carcaça, carne, gordura intramuscular, ultrassonografia em tempo real

Abstract

In the last decade, there has been a growing concern with obtaining information on the composition and quality of carcasses, cuts, and meat. This concern is related to the possibility of developing a value-based payment and marketing systems. For this, non-invasive and non-destructive techniques, mainly based on the image, have been developed and applied. It is in this panorama that the present thesis is framed and in which the real-time ultrasonography (RTU) and video image analysis (VIA) techniques were applied to the prediction of composition and quality of the carcass and meat quality of bovine, porcine and ovine species. This thesis is organized into three parts.

In Part I, a brief review of the use of RTU to predict intramuscular fat (IMF) was made. This review is followed by experimental work in which RTU images were obtained from samples of the *Longissimus thoracis and lumborum* (LTL) muscle from bovine (n = 54) using an RTU scanner equipped with a 7.5 MHz probe. The RTU images were submitted to computer image analysis to determine the characteristics of the marbling particles. Simple and multiple regressions were performed between the chemical IMF and the characteristics of the marbling particles determined by RTU. With this methodology, it was possible to explain 93% of the IMF variation in the LTL muscle.

Part II contains a literature review on the application of VIA systems to carcasses followed by experimental work. For the chapters involving the VIA system, two papers were used. One with thirty lamb carcasses of the autochthonous breed Churra Galega Mirandesa and the other with fifty-five carcasses of lambs of the breed Churra of Terra Quente. In both works images were obtained using a digital camera with a sensor of 8 megapixels. Measurements of area (A), perimeter (P), length (L), width (W) and angle (Ang) were recorded. Stepwise regression analyzes were performed to estimate carcass composition in tissues and cuts for both weights and yields using VIA measurements and cold carcass weight (CCW) as independent variables. In these studies, it was possible to verify that it is feasible to explain the variation of the weight of the cuts and the carcass composition of light lambs ($R^2 > 0.80$). However, for the prediction of proportions, it was found that the results were less expressive. The best model to explain muscle weight variation included the CCW, and a VIA measurement explained about

98% of that variation. The models developed to predict yields in the carcass using CCW and VIA measurements have moderate accuracy, with R^2 values ranging from 0.472 to 0.731 ($P < 0.01$).

In Part III, a brief review of the use of the VIA to evaluate the IMF, together with experimental work evaluating the IMF and the physical-chemical characteristics of the beef, was carried out, with another study with concerning the LTL muscle color of bovine and swine. To predict the IMF and the physical-chemical characteristics such as myoglobin, water holding capacity, sarcomere length, shear force (WBSF), total collagen, color parameters, final pH using a VIA approach it was used 106 LTL muscle samples from crossbred cattle. Correlation and determination coefficients were established between the variables obtained by VIA system and the physical-chemical characteristics of the meat as well as with the IMF. With the VIA approach it was possible explain 92% ($DPR = 0.45$, $P < 0.001$) and 82% ($DRP = 0.63$, $P < 0.001$), of IMF and the WBSF respectively. To evaluate the relationship between the color values of bovine and swine meat in the CIELab space, 89 LTL muscle samples from bovine and 110 LTL swine samples were used. The colorimetric characteristics L^* (luminosity), a^* (red) and b^* (yellow) were measured through two processes: by colorimetry, with a Minolta CR-10 colorimeter and using simple a computer assisted vision system (VAC). Regarding the color parameters, the regression equations were always higher for bovine LTL in all parameters evaluated with R^2 values ranging from 0.771 to 0.911, whereas for swine the results observed were less accurate.

In an overall conclusion, the image approaches (RTU and VIA) allows good results in the prediction of carcass, cuts and meat composition and quality of different species. Also, the results observed in this thesis suggest that the simple and low-priced RTU and VIA approaches used associated with image analysis were valuable tools to predict the carcass, cuts and meat quality and composition in low input production systems adding a value of the products.

Keywords: carcass, intramuscular fat, meat, real time ultrasound, video image analysis

Divulgação de Resultados

Parte dos resultados obtidos a partir dos trabalhos experimentais desta tese foram divulgados nas seguintes comunicações científicas:

Batista, A.C.S., Teixeira, A., Santos, V., Azevedo, J., Guedes, C., Silva, S. Análise de imagens vídeo para estimar a composição da carcaça e rendimentos em peças de cordeiros leves. Congresso Ibérico: Raças Autóctones, Economia Local e Paisagem Rural, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro - Vila Real, Portugal, 2015.

Batista, A.C.S., Guedes, C.M., Jorge, A.M., Almeida, J.H., Santos, V.C., Teixeira, A., Silva, S.R. Using a computer vision system for the determination of muscle longissimus dorsi colour in CIELab space. FAIM IV: *Fourth Annual Conference on Body and Carcass Evaluation, Meat Quality, Software and Traceability*. Edinburgh, 22nd and 23rd of September 2015.

Batista, A.C.S., A.M. Jorge, Guedes, C.M., Azevedo, J., Santos, V.C., Teixeira, A., Silva, S.R. Use of real time ultrasonography and image analysis to study relative growth of subcutaneous fat and muscle depths of ewes. FAIM IV: *Fourth Annual Conference on Body and Carcass Evaluation, Meat Quality, Software and Traceability*. Edinburgh, 22nd and 23rd of September 2015.

Batista, A.C.S., Teixeira, A., Santos, V., Azevedo, J., Guedes, C., Silva, S. 2016. Use of a video image analysis method to assess composition and cut yields in light lamb carcasses. In: *Raças Autóctones no Espaço Ibérico: um recurso sustentável*. Ed. A.A. Marta-Costa, M.L. Tibério, R.P.Carreira. UTAD pp. 92-99.

Índice

Índice de Figuras	xvii
Índice de Quadros	xxi
Lista de Siglas e Abreviaturas	xxv

Capítulo 1 - Introdução geral	1
--------------------------------------	----------

PARTE I - Utilização de técnicas não destrutivas para avaliar características da qualidade da carne e da gordura intramuscular: destaque para a ultrassonografia em tempo real

Capítulo 2 - Determinação das características da carne por técnicas não destrutivas: Uma revisão	7
---	----------

2.1. Introdução	7
2.2. Métodos não destrutivos baseados em imagens	8
2.2.1. Técnicas não destrutivas para a determinação de características da qualidade da carne	9
2.3. Ultrassonografia em tempo real	11
2.3.1. Equipamentos de ultrassom	13
2.3.2. Análise das imagens de RTU	14
2.3.3. Utilização de ultrassom para estimar a composição corporal e a composição da carcaça	15
2.3.4. Estimativa <i>in vivo</i> e <i>post-mortem</i> da IMF por ultrassonografia em tempo real	17
2.4. Conclusões	20
2.5. Referências	20

Capítulo 3 - Avaliação da gordura intramuscular do músculo <i>Longissimus thoracis et lumborum</i> por análise de imagens resultantes de ultrassonografia em tempo real	31
--	-----------

Resumo	31
3.1. Introdução	32
3.2. Material e métodos	34

3.2.1. Preparação das amostras	34
3.2.2. Aquisição das imagens de ultrassom	35
3.2.3. Análise das imagens de ultrassom	35
3.2.4. Análise química por meio do método de extração de Soxhlet	36
3.2.5. Análise estatística	36
3.3. Resultados e discussão	37
3.4. Conclusões	43
3.5. Referências	43

PARTE II - Análise de imagem vídeo em carcaças

Capítulo 4 - Uso de análise de imagem vídeo para avaliar a qualidade da carcaça e de peças em ruminantes: uma revisão 51

4.1. Introdução	51
4.2. Evolução dos sistemas VIA aplicado à avaliação de carcaças de ruminantes	52
4.3. Utilização do sistema VIA na avaliação de carcaças	54
4.4. Utilização em ambiente industrial dos sistemas VIA	57
4.4.1. Exemplos da aplicação de sistemas VIA em ovinos	59
4.5. Desenvolvimento e aplicação de sistemas VIA de reduzido custo	62
4.5.1. Exemplos da aplicação de um sistema VIA de reduzido custo	64
4.6. Conclusões	66
4.7. Referências	66

Capítulo 5 - Uso da análise de imagem vídeo para avaliar a composição da carcaça e o rendimento de peças de cordeiros leves 75

Resumo	75
5.1. Introdução	76
5.2. Material e métodos	77
5.2.1 Animais e carcaça	77
5.2.2 Aquisição das imagens e medições VIA	77
5.2.3 Composição carcaça e das peças	79
5.2.4 Análise estatística	79
5.3. Resultados e discussão	79
5.4. Conclusão	84
5.5. Referências	85

Capítulo 6- Utilização de medidas obtidas por análise de imagem vídeo nos planos lateral e dorsal de carcaças de cordeiros leves para estimar o peso e o rendimento das peças 89

Resumo	89
6.1. Introdução	90
6.2. Material e Métodos	91
6.2.1. Animais e obtenção das carcaças	91
6.2.2. Aquisição das imagens e medidas VIA	91
6.2.3. Composição das peças	93
6.2.4. Modelos e análise estatística	94
6.3. Resultados e Discussão	94
6.3.1. Descrição das informações de carcaça	94
6.3.2. Estimativa dos pesos das peças	98
6.3.3. Estimativa de rendimento dos grupos de peças comerciais	100
6.3.4. Estimativa dos pesos de carne magra	100
6.3.5. Estimativa de rendimento da carne magra	102
6.4. Conclusões	104
6.5. Referências	104

PARTE III - Utilização de VIA para avaliar características físico-químicas e a gordura intramuscular

Capítulo 7 - Avaliação da gordura intramuscular por métodos de imagem: Uma revisão 111

7.1. Introdução	111
7.2. Breve nota sobre a metodologia do sistema VIA	112
7.3. Gordura intramuscular	112
7.4. Usando análise de imagem para a determinação da IMF	114
7.5. Estimativa da IMF e do marmoreado por VIA	116
7.6. Outros métodos não destrutivos baseados na imagem para determinar a IMF	118
7.6.1 Análise de Imagens Hiperespectrais e Tomografia Computadorizada	118
7.7. Conclusões	122
7.8. Referências	122

Capítulo 8 - Utilização de análise de imagem para estimar a gordura intramuscular e as características físico-químicas carne 131

Resumo	131
--------	-----

8.1. Introdução	132
8.2. Material e Métodos	133
8.2.1. Preparação das amostras	133
8.2.2. Obtenção de imagens	133
8.2.3. Análise das imagens	134
8.2.4. Características físico-químicas da carne	135
8.2.4.1. Mioglobina	136
8.2.4.2. Capacidade de retenção de água	136
8.2.4.3. Sarcómero	137
8.2.4.4. Warner-Bratzler força de corte	137
8.2.4.5. Colagénio total	138
8.2.4.6. Cor	139
8.2.4.7. pH	139
8.2.4.8. IMF	139
8.2.5. Análise estatística	139
8.3. Resultados e Discussão	140
8.4. Conclusão	147
8.5. Referências	147

Capítulo 9- Determinação da cor no espaço CIELab de amostras do músculo *longissimus thoracis et lumborum* de bovinos e suínos através de um sistema visão assistida por computador 151

Resumo	151
9.1. Introdução	152
9.2. Material e Métodos	154
9.2.1. Amostras	154
9.2.2. Colorímetro e sistema de visão assistida por computador	154
9.2.3. Aquisição das imagens	154
9.2.4. Análise das imagens	155
9.2.5. Análise estatística	156
9.3. Resultados e Discussão	156
9.4. Conclusões	165
9.5. Referências	165

Capítulo 10- Considerações finais 169

Capítulo 2

Figura 2.1 - Representação dos diferentes tipos de monitorização modo A (a), modo B (b) e tempo real (c) (Adaptado de Lowman *et al.*, 1976; Stouffer, 2004). 14

Figura 2.2 - Análise de imagem para a determinação do marmoreado a partir de uma imagem de RTU pelo Software ImageJ. 15

Capítulo 3

Figura 3.1 - Passos da análise de imagem para a determinação das características das partículas de marmoreado. Imagem original RTU (A); imagem de 8 bits na escala de cinzento com definição de uma região de interesse (B); aplicação do *threshold* e separação da área de interesse (C); obtenção dos dados relativos às partículas de marmoreado (D). 35

Capítulo 4

Figura 4.1 - Vista lateral de uma carcaça bovina (a). Comprimentos e larguras (b); áreas e perímetros (c); ângulos (d); medidos com o Software ImageJ (adaptado de Batista *et al.*, 2016). 65

Capítulo 5

Figura 5.1 - Vista do lado exterior da carcaça de borregos leves da raça Mirandesa (a) que descreve as variáveis usadas para coletar as medidas de áreas (b); perímetros (c); comprimentos e larguras (d) e ângulos (e). A1= Área da perna; A2= área de lombo; A3= Área do quarto dianteiro; A4= área da pá; P1= perímetro da perna; P2= perímetro do lombo; P3= perímetro do quarto dianteiro; P4= perímetro da pá; L1= comprimento da perna; L2= comprimento toracolombar; L3= Comprimento entre o osso fibular do tarso e o úmero; L4= comprimento do antebraço; W1= menor largura da perna; W2= maior largura da perna; W3= largura mínima da sela; W4= largura máxima do tórax; W5= largura máxima do tórax; W6= maior largura da aba das costelas; $\hat{A}1$ = ângulo da perna 1; $\hat{A}2$ = ângulo da perna 2; $\hat{A}3$ = ângulo da perna 3. 78

Capítulo 6

Figura 6.1 - Vista do lado exterior da carcaça de borregos leves da raça Mirandesa (a) que descreve as variáveis usadas para coletar as medidas de áreas (b); perímetros (c); comprimentos e larguras (d) e ângulos (e). LA1= área da perna; LA2= área de lombo; LA3= área do quarto dianteiro; LA4= área da pá; LP1= perímetro da perna; LP2= perímetro do lombo; LP3= perímetro do quarto dianteiro; LP4= perímetro da pá; L11= comprimento da perna; L12= comprimento toracolombar; L13= comprimento entre o osso fibular do tarso e o úmero; L14= comprimento do antebraço; Lw1= menor largura da perna; Lw2= maior largura da perna; Lw3= largura mínima da sela; Lw4= largura máxima do tórax; Lw5= largura máxima do tórax; Lw6= maior largura da aba das costelas; Lâ1= ângulo da perna 1; Lâ2= ângulo da perna 2; Lâ3= ângulo da perna 3. 92

Figura 6.2 - Vista dorsal da carcaça de cordeiros leves da raça Mirandesa. Larguras e comprimentos (a, b e c); ângulos (d); áreas e perímetros (e); área e perímetro do retângulo em volta do quarto traseiro e quarto dianteiro (f). dW1= largura mínima da perna; dW2= largura máxima das pernas; dW3= largura mínima da sela; dW4= largura máxima do tórax; dW5= largura mínima do tórax; dW6= largura máxima da pá; dL1= comprimento mínimo da perna; dL2= comprimento do períneo até a articulação tarso-metatarso; dL3= largura entre a articulação femúr tibio-rotuliana e o períneo; dL4= comprimento máximo da perna; dL5= comprimento entre o início da bacia até o nível do períneo; dL6= comprimento entre uma base do pescoço e uma base da cauda; dL7= comprimento entre as vertebra cervicais; dL8= comprimento das vertebra sacras; dL9= comprimento das vertebra lombares; dL10= comprimento toraco-lombar; dL11= comprimento das vertebra torácicas; dL12= comprimento das vertebra cervicais; ang1D= ângulo de perna 1; ang2D= ângulo de perna 2; ang3D= ângulo de perna 3; dA1= área da perna; dA2= área lombar; dA3= área toracolombar; dA4= área torácica; dA5= área da pá; dP1= perímetro da perna; dP2= perímetro lombar; dP3= perímetro toracolombar; dP4= perímetro torácico; dP5= perímetro da pá; aR1= área do quarto traseiro; aR2= área do quarto dianteiro; pR1= perímetro do quarto traseiro; pR2= perímetro do quarto dianteiro. 93

Capítulo 7

Figura 7.1 - Exemplos de 3 peças de bovinos com diferentes níveis de IMF no músculo *Longissimus thoracis et lumborum* (LTL). 113

Figura 7.2 - Determinação de características da gordura intramuscular num plano do músculo *Longissimus thoracis et lumborum*. Sequência de passos de uma análise de imagem utilizando o programa ImageJ: a- segmentação a mão livre do músculo *Longissimus thoracis et lumborum*; b- transformação em uma imagem de 8-bit; c- imagem após a aplicação de um *threshold* e d- extração de dados numéricos. 116

Figura 7.3 - Exemplo de um exame de uma peça de suíno num equipamento de tomografia computadorizada (a); imagem de CT da peça em que se nota com diferentes níveis de cinzento o osso, músculo, gordura subcutânea e couro (b). 119

Capítulo 8

Figura 8.1 - Análise das partículas de IMF utilizando o programa ImageJ. a- segmentação do músculo LTL; b - transformação numa imagem de 8 bits; c - imagem após a aplicação padrão do nível de cinzento associado à IMF e d - extração dos dados resultantes da análise das partículas de IMF. 135

Capítulo 9

Figura 9.1 - Análise de imagem utilizando o software Adobe Photoshop CS6. A imagem ilustra as amostras do músculo LD de bovinos e suínos, respectivamente. A seta indica um dos pontos onde foram medidos os valores de L^* , a^* e b^* por colorimetria e por VAC. 155

Figura 9.2- Valores dos parâmetros de cor L^* , a^* e b^* para a carne de suíno e de bovino avaliados pelo colorímetro e pelo sistema de visão assistida por computador (VAC). Para cada parâmetro de cor barras encimadas por letras diferentes diferem significativamente ($P < 0.05$). 159

Figura 9.3 - Equações de regressão linear entre as medidas de L^* obtidas por VAC e pelo colorímetro para os bovinos (vermelho) e para os suínos (preto). 161

Figura 9.4 - Equações de regressão linear entre as medidas de a^* obtidas por VAC e pelo colorímetro para os bovinos (vermelho) e para os suínos (preto). 163

Figura 9.5 - Equações de regressão linear entre as medidas de b^* obtidas por VAC e pelo colorímetro para os bovinos (vermelho) e para os suínos (preto). 164

Índice de Quadros

Capítulo 2

- Quadro 2.1-** Resumo da determinação de algumas características da carne de bovinos e suínos medidos por técnicas não-destrutivas. 10
- Quadro 2.2 -** Evolução do ultrassom em ciência animal. 12
- Quadro 2.3 -** Estimativa de rendimento, músculo e gordura na carcaça de ovinos utilizando medidas de ultrassom. 16
- Quadro 2.4 -** Resumo da determinação da percentagem de gordura intramuscular medido por ultrassons. 19

Capítulo 3

- Quadro 3.1 -** Média, desvio padrão (DP), mínimo (Min), máximo (Max) e coeficiente de variação (CV) do peso vivo, peso de carcaça quente, IMF química e características de partículas de marmoreado obtidos por análise de imagem de RTU (n = 54). 37
- Quadro 3.2 -** Equações, coeficiente de determinação (R^2) e desvio-padrão residual (DPR) entre a IMF química (Y) e as características das partículas de marmoreado medidos por análise de imagem de RTU (X) (n = 54). 39
- Quadro 3.3 -** Equação de regressão múltipla desenvolvida a partir das características das partículas de marmoreado para estimar a IMF química (n= 54). 41

Capítulo 4

- Quadro 4.1 -** Evolução da técnica de análise de imagem vídeo. 54
- Quadro 4.2 -** Tipos de sistemas VIA comerciais aplicados a bovinos e ovinos. 58
- Quadro 4.3 -** Estimativas do rendimento em carne magra (LMY) e do rendimento de carne vendável (SMY) de ovinos obtidas por sistemas VIA. 60

Quadro 4.4 - Estimativa do peso e rendimento das peças de ovinos obtidas por análise de imagem. 61

Quadro 4.5 - Sistemas de VIA de baixo custo aplicados em bovinos, ovinos e caprinos. 63

Capítulo 5

Quadro 5.1 - Média, desvio padrão (dp), amplitude e coeficiente de variação (CV) do peso e rendimento das peças e composição dos tecidos na carcaça. 80

Quadro 5.2 - Médias, desvios padrão (DP), amplitude e coeficiente de variação (CV) das medições da VIA. 81

Quadro 5.3 – Coeficiente de determinação (R^2) e desvio padrão residual (DPR) para cada modelo de estimativa do peso e rendimento da perna, lombo, costela, aba das costelas, pá e pescoço por PCF e medições VIA. 83

Quadro 5.4 - Coeficiente de determinação (R^2) e desvio padrão residual (DPR) para cada modelo de estimativa do músculo, gordura subcutânea, gordura intermuscular e gordura na carcaça (peso e rendimento) pelo PCF e medições VIA. 84

Capítulo 6

Quadro 6.1 - Média, desvio padrão (dp), mínimo (Mín), máximo (Máx)) e coeficiente de variação (CV) do peso e rendimento dos grupos de peças de valor comercial das carcaças de borregos. 95

Quadro 6.2 - Médias, desvios padrão (dp), mínimo (Mín), máximo (Máx) e coeficiente de variação (CV) das medidas VIA obtidas com a vista lateral. 96

Quadro 6.3 - Médias, desvios padrão (dp), mínimo (Mín), máximo (Máx) e coeficiente de variação (CV) das medidas VIA obtidas com a vista dorsal. 97

Quadro 6.4 - Coeficiente de determinação (R^2) e desvio padrão residual (DPR) para o peso e proporções dos grupos de peças de valor comercial da carcaça de borregos usando os modelos CCW +VIA Lateral, CCW + VIA Dorsal e CCW + VIA Dorsal + VIA lateral 99

Quadro 6.5 - Coeficiente de determinação (R^2) e desvio padrão residual (DPR) para o peso e proporções de carne magra dos grupos de peças de valor comercial da carcaça de borregos 101

usando os modelos CCW +VIA Lateral, CCW +VIA Dorsal e CCW + VIA Dorsal + VIA lateral.

Capítulo 7

Quadro 7.1 - Resumo dos tipos de câmeras e softwares utilizados para avaliar as características da carcaça e da carne. 115

Quadro 7.2 - Resumo dos trabalhos com análise de imagens para estimar o marmoreado em bovinos e suínos. 117

Quadro 7.3 - Resumo dos trabalhos para estimar o percentual da gordura intramuscular por imagem hiperespectral e tomografia computadorizada em bovinos e suínos. 120

Capítulo 8

Quadro 8.1 - Médias, desvio padrão (dp), mínimo (Mín), máximo (Máx) e coeficiente de variação para as medidas obtidas com análise de imagem. 140

Quadro 8.2 - Médias, desvio padrão (dp), mínimo (Mín), máximo (Máx) e coeficiente de variação para a IMF e para as características físico-químicas da carne. 141

Quadro 8.3 - Correlações entre as variáveis resultantes da análise das imagens e a IMF e as características físico-químicas da carne. 143

Quadro 8.4 - Regressões múltiplas para a estimativa da IMF e das características físico-químicas da carne com a análise de imagem. 145

Capítulo 9

Quadro 9.1 - Valores médios de L*, a* e b, valores máximos e mínimos, desvio padrão (dp) e coeficiente de variação (CV %) do músculo LD obtidos com o colorímetro e através de visão assistida por computador (VAC) (suíno n=110; bovino n=89). 156

Quadro 9.2 - Análise de variância para os parâmetros de cor L*, a* e b* para o músculo LTL considerando como factores a espécie e o método (suíno n=110; bovino n=89). 157

Quadro 9.3 - Coeficientes de correlação (r) entre os parâmetros L^* , a^* e b^* do músculo LD 160 obtidos com o colorímetro e através da visão assistida por computador (VAC).

Lista de abreviaturas¹

CCW	- carcass cold weight
CIELab	- comissão internacional de iluminação
CT	- computed tomography
LTL	- <i>Longissimus thoracis et lumborum</i>
HSI	- hyperespectral imaging
IMF	- intramuscular fat
MHz	- megaHertz
RTU	- real time ultrasound
VAC	- visão assistida por computador
VIA	- video image analysis

¹ Esta lista não inclui as abreviaturas utilizadas nos quadros e cujo significado se indica associado aos mesmos

Introdução Geral

A procura por carne de animais de produção como bovinos, suínos, ovinos e caprinos muda constantemente e a sua qualidade continua a ser a principal prioridade entre os consumidores. Com base nisso, a indústria da carne e os criadores de animais têm focado em atender as expectativas dos consumidores (Slosarz *et al.*, 2011; Peña *et al.*, 2014). O preço das carcaças e da carne pago aos produtores tem base em uma avaliação prévia feita com sistemas de classificação, contudo, avaliar tanto as carcaças como as peças e a carne de forma objetiva e precisa tornou-se uma necessidade nos últimos tempos. De acordo com Ma *et al.* (2016), o aumento da procura por produtos de qualidade, levou os consumidores a considerarem, à primeira vista, a aparência e o preço do produto. A carne e seus produtos secundários são fontes de proteínas, gordura, vitaminas e minerais e desempenham um papel essencial na vida das pessoas. A alta demanda por carne, e/ou seus produtos, levou a maioria dos países desenvolvidos a aumentar as exigências no que se refere a qualidade da carne (Ma *et al.*, 2016).

A avaliação das características da carcaça, peças e carne pelos métodos tradicionais (métodos destrutivos ou subjectivos), apresenta geralmente abordagens trabalhosas, onerosas e por vezes indutoras de resultados subjetivos enquanto que a avaliação feita por métodos não destrutivos proporciona resultados consistentes e objetivos (Abdullah, 2016). É neste quadro, que a avaliação da composição da carcaça e da qualidade da carne dos animais de produção se apresenta atualmente: como um importante desafio em todo o mundo com a utilização de metodologias não invasivas e não destrutivas. Segundo Valous *et al.* (2016), as técnicas não invasivas e não destrutivas têm apresentado um crescimento significativo em todo o mundo. Os benefícios de uma avaliação automatizada das carcaças, de peças ou da carne aumentam as expectativas dos consumidores no momento da compra e fornecem informações rápidas e consistentes que lhes podem ser úteis na decisão de compra (Valous *et al.*, 2016). Para que o benefício resultante destas técnicas seja conseguido, é indispensável um sistema de identificação individual com o qual é possível ter informação em tempo real num fluxo bidireci-

onal, do produtor até ao consumidor e do consumidor até ao produtor. Esta informação permite atuar de forma a melhorar o produto e tornar os sistemas de produção mais eficientes (MacFarlane e Simm, 2008; Bertrand, 2009).

A sofisticação dos métodos não destrutivos levou a evolução rápida de tecnologias não invasivas e não destrutivas, onde várias técnicas têm sido usadas para avaliar as características da carcaça e da qualidade da carne. Segundo Slószar *et al.* (2011), as técnicas de imagem têm ganhado destaque nas investigações que avaliam os traços da carne e a composição da carcaça. A combinação de recursos instrumentais e mecânicos com técnicas de processamento de imagem tem por objetivo desenvolver um sistema automatizado para avaliar a qualidade dos alimentos, substituindo assim o trabalho humano em determinados processos (Du e Sun 2004). A ultrassonografia em tempo real (*do inglês real time ultrasonography - RTU*), a análise de imagem vídeo (*do inglês video image analysis - VIA*), a ressonância magnética (*do inglês magnetic resonance imaging - RM*), a tomografia computadorizada (*do inglês computed tomography - CT*), entre outras, são exemplos de técnicas que têm sido bastante estudadas, além de apresentar resultados promissores (Silva e Cadavez, 2012; Scholz *et al.*, 2012; Baulain, 2012; Jackman e Sun, 2012; Teixeira, 2009; Przybylak *et al.*, 2016). O objetivo do monitoramento da qualidade da carcaça e da carne através de técnicas não destrutivas e não invasivas é, sobretudo, a introdução de informação nas linhas de processamento para os consumidores bem como para toda a cadeia de produção, e embora a avaliação das peças e da qualidade da carne apresente um grande progresso, ainda há barreiras a serem vencidas (Valous *et al.*, 2016). As técnicas que têm sido desenvolvidas e aplicadas para avaliar a carcaça, as peças e a carne apresentam diversa sofisticação e custo. Frequentemente são técnicas orientadas para unidades industriais de grande dimensão com elevado custo já que têm que ser precisas e simultaneamente rápidas (Craigie *et al.*, 2012; Valous *et al.*, 2016; Ma *et al.*, 2016; Olsen *et al.*, 2017). Há, todavia, muitas unidades que procuram informações objetivas sobre a qualidade e/ou composição das carcaças, de peças e da carne e que pela sua dimensão necessitam de técnicas simples, precisas e de custo reduzido. É neste cenário que se enquadra a presente tese, com o objetivo geral de verificar a aplicabilidade de técnicas de imagem de reduzido custo na avaliação de carcaças, peças e carnes de bovinos, suínos e ovinos.

1.1 Referências

- Abdullah, M.Z., 2016. Image Acquisition Systems. In Computer vision technology for food quality evaluation (2nd Edition). Editor Da-Wen Sun. Woodhead Publishing, California, USA. 3–43.
- Baulain, U., 2012. Body composition of farm animals by MRI. In Farm animal imaging Dublin 2012. Ed. C. Maltin, C. Craigie, and L. Bünger, 16-19.
- Bertrand, J.K., 2009. Using actual and ultrasound carcass information in beef genetic evaluation programs. *Revista Brasileira de Zootecnia* 38, 58-63.
- Craigie, C.R., Navajas, E.A., Purchas, R.W., Maltin, C.A., Buenger, L., Hoskin, S.O., Ross, D.W., Morris, S.T., Roehe, R., 2012. A review of the development and use of video image analysis (VIA) for beef carcass evaluation as an alternative to the current EUROP system and other subjective systems. *Meat Science* 92, 307-318
- Du, C.J., Sun, D.W., 2004. Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Trends in Food Science & Technology* 15, 230-249.
- Jackman, P., Sun, D.W., 2012. Computer vision in the fresh and processed meat industries. In Computer vision technology in the food and beverage industries. Editor Da-Wen Sun. Woodhead Publishing, Cambridge, UK. 255-272.
- Ma, J., Sun, D.-W., Qu, J.-H., Liu, D., Pu, H., Gao, W.-H., Zeng, X.-A., 2016. Applications of computer vision for assessing quality of agri-food products: a review of recent research advances. *Critical reviews in food science and nutrition* 56, 113-127.
- Macfarlane, J.M., Simm, G., 2008. Genetic improvement programme for meat type sheep: An experience from the United Kingdom. *Tecnologia e Ciência Agropecuária* 2, 15-22.
- Olsen, E. V., Christensen, L.B., Nielsen, D.B., 2017. A review of computed tomography and manual dissection for calibration of devices for pig carcass classification - Evaluation of uncertainty. *Meat Science*. 123, 35–44.
- Pena, F., Santos, R., Juarez, M., Aviles, C., Domenech, V., Gonzalez, A., Martinez, A., Molina,

- A., 2014. The use of ultrasound scanning at different times of the finishing period in lean cattle. *Livestock Science* 167, 381-391.
- Przybylak, A., Boniecki, P., Koszela, K., Ludwiczak, A., Zaborowicz, M., Lisiak, D., Stanisiz, M., Slosarz, P., 2016. Estimation of intramuscular level of marbling among White headed Mutton Sheep lambs. *Journal of Food Engineering* 168, 199-204.
- Scholz, A.M., Kremer, P.V., Wenczel, R., Pappenberger, E., Bernau, M., 2012. Body composition in farm animals by dual energy X-ray absorptiometry. In: *Farm animal imaging Dublin 2012*. Ed. C. Maltin, C. Craigie, and L. Bünger, pp. 9-15.
- Silva, S.R., Cadavez, V., 2012. Real-time ultrasound (RTU) imaging methods for quality control of meats. In: *Computer vision technology in the food and beverage industries*. Ed Da-Wen Sun. Woodhead Publishing, Cambridge, UK. 277-329.
- Slosarz, P., Stanisiz, M., Boniecki, P., Przybylak, A., Lisiak, D., Ludwiczak, A., 2011. Artificial neural network analysis of ultrasound image for the estimation of intramuscular fat content in lamb muscle. *African Journal of Biotechnology* 10, 11792-11796.
- Teixeira, A., 2009. Basic composition: Rapid methodologies. In Nolle L.M.L. and Toldra F., *Handbook of muscle foods analysis*, Boca Raton, FL: CRC, Taylor and Francis Group, 291–314.
- Valous, N.A., Zheng, L., Sun, D.W., and Tan, J., 2016. Quality evaluation of meat cuts. In: *Computer vision technology for food quality evaluation (2nd Edition)*. Editor Da-Wen Sun. Woodhead Publishing, California, USA. 175–193.

PARTE I

Utilização de técnicas não destrutivas para avaliar características da qualidade da carne e da gordura intramuscular: destaque para a ultrassonografia em tempo real

Determinação das características da carne por técnicas não destrutivas: uma revisão

2.1. Introdução

Nos últimos tempos, consumo de carne de ruminantes cresceu consideravelmente, fazendo parte do hábito alimentar da maioria da população mundial (FAO, 2015). Devido a este crescimento, ocorreram mudanças na cadeia produção de carne com a finalidade de melhorar sua qualidade para garantir a satisfação do consumidor (Costa *et al.*, 2008). Este consumo tem aumentado tanto por causa do crescimento da população e do seu salário, como pela maior exigência em relação aos produtos de qualidade e a busca por uma alimentação saudável (Delgado, 2003; Costa *et al.*, 2008; FAO, 2015). A carne de melhor qualidade nutricional e com menos gordura passou a ser preferência entre os consumidores (Costa *et al.*, 2008), contudo, para manter a suculência, o sabor e a qualidade da carne é importante manter um nível de gordura mínima exigida (Stanford *et al.*, 1998). O nível de preferência de gordura intramuscular (do inglês *intramuscular fat* - IMF) varia entre os países e cada um define a sua percentagem de gordura no músculo. No Japão por exemplo, a distribuição regular das partículas de IMF no músculo e um alto teor de IMF (acima de 20%) são bem aceites (Gotoh *et al.*, 2009). Noutros países, embora exista uma grande variação, os valores de 3 a 4% de IMF no músculo *Longissimus thoracis et lumborum* (LTL) são considerados como o valor mínimo a atingir (Savell *et al.*, 1986).

Existem inúmeras investigações nos países em desenvolvimento para ajustar os métodos relacionados com a produção de carne, principalmente em espécies de animais locais (Arguello, 2011). Atualmente, estão sendo empregados novos métodos para aumentar e melhorar os rendimentos em carne dos pequenos ruminantes tanto de raças nativas como de raças melhoradas (Webb, 2014). Com a finalidade de produzir carne de alta qualidade para os consumidores, a indústria investe em informações confiáveis e, para atender a este requisito,

investigações recentes têm sido conduzidas para certificar, avaliar e analisar a qualidade da carne e da carcaça (Damez e Clerjon, 2013). Métodos objetivos de avaliação de carne e carcaça facilitam o estudo da qualidade da carne e permitem que a avaliação seja feita de forma padronizada (Santos *et al.*, 2007). É evidente que a avaliação da qualidade da carne de animais de produção aliado a utilização de metodologias não invasivas e não destrutivas, se apresenta atualmente como um importante desafio em todo o mundo. Na verdade, o desenvolvimento e aplicação de metodologias rápidas e não destrutivas de avaliação de características ligadas à qualidade e composição quer das carcaças quer da carne tem sido o foco de vários grupos de investigação (Cunha *et al.*, 2004; Aass *et al.*, 2009; Maltin e Craigie, 2012; Einarsson *et al.*, 2014). Estes grupos apresentam como principal objetivo a procura de novas metodologias que ultrapassem as limitações dos métodos tradicionais que são destrutivos (dissecação e análise físico-químicas), demorados (análises químicas), onerosos e não são aplicáveis a grandes volumes de amostras (análises sensoriais). Tradicionalmente, a dissecação e a análise química da carne constituem os métodos padrão para a determinação da composição da carcaça, contudo, estes processos são dispendiosos, destrutivos e laboriosos (Silva e Cadavez, 2012). Métodos objetivos, de baixo custo e rápidos são capazes de determinar a qualidade da carne e da carcaça, como por exemplo, análise de imagem vídeo (do inglês *video image analysis* - VIA), tomografia computadorizada (do inglês *computer tomography* - CT) e ultrassonografia em tempo real (do inglês *real time ultrasound* - RTU). O aroma, o sabor, a cor e a quantidade de marmoreado são algumas características que podem ser avaliadas por meio de técnicas não invasivas (Zapotoczny *et al.*, 2016), e é neste contexto que se enquadra esta revisão, onde será dado destaque para a ultrassonografia em tempo real.

2.2. Métodos não destrutivos baseados em imagens

O desenvolvimento tecnológico associado aos métodos não invasivos e não destrutivos, com base na imagem para avaliar características da composição e qualidade das carcaças e da carne dos animais, é suportado por dois pilares. Um que diz respeito ao progresso observado na área da computação e da imagem, em especial no campo médico (Stouffer, 2004), e outro que está relacionado com a capacidade de análise das imagens digitais e com a obtenção de informação relevante para a ciência animal (Silva e Cadavez, 2012). A visão computacional desenvolveu-se de forma rápida quando associada às técnicas de processamento de imagem, caracterizando algumas propriedades dos alimentos como textura, forma, cor e tamanho (Du e

Sun 2004). Esta técnica consistente e precisa permite substituir as inspeções feitas pelo homem, mostrando-se versátil e com bons resultados que podem ser usados para dar suporte à avaliação da qualidade da carne (Du e Sun 2004; Przybylak *et al.*, 2016). As técnicas de imagem oferecem aos intervenientes na cadeia de produção de carne a oportunidade de realizar medidas nos animais vivos, nas carcaças e na carne, onde estas medidas podem ser utilizadas para melhorar todo o setor na produção de carne (Maltin e Craigie, 2012).

2.2.1 Técnicas não destrutivas para a determinação de características da qualidade da carne

Continuamente, a indústria da carne passa por desafios com o objetivo de fornecer produtos de qualidade, seguros e nutritivos (Turantas *et al.*, 2015). Para Narsaiah e Jha (2012), os processos que ocorrem tanto antes como após o abate influenciam a qualidade da carne e, segundo estes autores, as características de qualidade afetam a decisão de compra do consumidor final. A finalidade de estimar as características de qualidade da carne é fornecer informação ao consumidor que lhe permita uma escolha mais informada (Narsaiah e Jha, 2012). Com base nisso, a tecnologia de absorciometria de raios-X de dupla energia (do inglês *dual X-ray absorptiometry* - DXA), a tomografia computadorizada (do inglês *computer tomography* - CT), a ressonância magnética (do inglês *nuclear magnetic resonance* - NMR), a análise de imagem por computador (do inglês *computer image analysis* - CIA), a tecnologia de imagem hiperespectral (do inglês *hyperspectral imaging* - HSI) e a espectroscopia Raman (do inglês *raman spectroscopy* - RAM) estão entre as técnicas não-destrutivas baseadas em diferentes princípios físicos capazes de determinar características de qualidade da carne como maciez, textura, cor e suculência (Damez e Clerjon, 2013). No Quadro 2.1 são apresentados alguns exemplos. Por exemplo ao investigar o potencial da CT para avaliar a composição da qualidade da carne de bovinos da raça Limousin (n=106), Prieto *et al.* (2010), encontraram resultados de $R^2 = 0,66$ para o perfil de ácidos gordos. Entretanto, estes mesmos autores encontraram estimativas baixas para as características tecnológicas da carne, com R^2 variando de 0,01 a 0,26. Apesar dos resultados baixos para as características tecnológicas da carne, Prieto *et al.* (2010), chegaram a conclusão de que a CT é uma boa alternativa aos métodos tradicionais, como a dissecação e análise química, e que esta técnica é capaz de fornecer também resultados precisos do conteúdo da gordura intramuscular e o perfil dos ácidos gordos.

Quadro 2.1- Resumo da determinação de algumas características da carne de bovinos e suínos medidos por técnicas não-destrutivas.

Tecnologia/Referência	Espécie	n	Característica	R ²	RSD
DXA					
Kroger <i>et al.</i> (2006)	Bovino		Maciez	0,69	
Brienne <i>et al.</i> (2001)	Bovino	30	Teor de gordura	0,70	2,75
	Suíno	30	Teor de gordura	0,97	4,36
CT					
Prieto <i>et al.</i> (2010)	Bovino	106	MUFA	0,66	15,81
	Bovino	88	MUFA	0,72	15,75
NMR					
Bertran <i>et al.</i> (2001)	Suíno	74	Capacidade de retenção de água	r=0,72	1,35
	Suíno	74	Perda por cozimento	r=0,77	1,65
CIA					
Osawa <i>et al.</i> (2008)	Bovino		Marmoreado	0,92	
Li <i>et al.</i> (1999)	Bovino	97	Cor, marmoreado, textura	0,70	
HIS					
Barbin <i>et al.</i> (2013)	Suíno	120	Proteína	0,89	
			Umidade	0,86	
			Gordura	0,97	
Barbin <i>et al.</i> (2012)	Suíno	75	Cor (L*)	0,88	
RAM					
Beattie <i>et al.</i> (2004)	Bovino	52	Suculência	0,62	
			Textura	0,71	
			Maciez	0,65	
Beattie <i>et al.</i> (2008)	Suíno	12	Perda por cozimento	0,77	
			Força de corte	0,71	
Herrero <i>et al.</i> (2008)	Suíno		Dureza	0,95	
			Coesividade	0,94	
			Adesividade	0,97	
			Elasticidade	0,98	

DXA= absorciometria de raios-X de dupla energia; CT= tomografia computadorizada; MNR= ressonância magnética; CIA= análise de imagem por computador; HIS= imagem hiperespectral; RAM= espectroscopia Raman; MUFA= ácidos gordos monoinsaturados.

A análise de imagem por computador é outra alternativa de técnica não-destrutiva capaz de determinar as características da carne. A fim de desenvolver modelos de estimativa para determinar as características de cor, marmoreado e textura da carne, Li *et al.* (1999), verificaram que a análise de imagem foi capaz de estimar estas características com valores de R² de até 0,70. Apesar das técnicas de imagem citadas anteriormente serem sofisticadas e apresentarem resultados satisfatórios para determinar as características da carne, existem outras técnicas que

podem ser usadas, como por exemplo a ultrassonografia em tempo real (Przybylak *et al.*, 2016), que terá seu princípio e sua aplicabilidade discutidos nos próximos tópicos.

2.3. Ultrassonografia em tempo real

A ultrassonografia em tempo real (RTU) é uma técnica não invasiva, não destrutiva e não dolorosa, fácil de utilizar e de fornecer imagens precisas (Silva *et al.*, 2007a; Stanford *et al.*, 1998), entretanto, até chegarmos nos aparelhos modernos e sofisticados da atualidade, é preciso voltar um pouco no tempo. De acordo Woo (2006), a descoberta dos ultrassons se deu no final do século XIX pelos irmãos Curie que descobriram as propriedades piezoelétricas de alguns cristais. Desde essa época até à atualidade, a técnica de ultrassom tem sido aplicada de forma variada. Em paralelo ao desenvolvimento militar na Segunda Guerra Mundial, equipamentos para diagnóstico em medicina foram criados, apresentando, no correr do tempo, grande potencial de aplicação ao estudo *in vivo* dos órgãos e tecidos (Silva, 2017) e com isso, passou a ter sucesso tanto nos campos da medicina como na ciência animal e, por mais de 50 anos, esta técnica tem sido uma ferramenta valiosa usada para avaliar a qualidade da carne e estimar a composição da carcaça *in vivo* (Silva e Cadavez, 2012). Mesmo que as necessidades da ciência animal e da medicina humana sejam distintas, o RTU pode ser aplicado facilmente em ciência animal (Stouffer, 2004; Thompson, 2010). De acordo com Silva *et al.* (2007a) o uso da RTU em ciência animal tem focado preferencialmente na área da reprodução e na estimativa da composição da carcaça a partir de medidas *in vivo*, podendo também ser utilizado na avaliação do marmoreado diretamente nas peças de carne. No Quadro 2.2 é possível observar a evolução do ultrassom aplicado aos animais de produção até a atualidade.

1 **Quadro 2.2** - Evolução do ultrassom em ciência animal

Referência	Ano	Descrição
Szabo (2004)	1881	Pierre Curie encontrou conexão entre a tensão elétrica e pressão em material cristalino
	Anos 1940 a 1950	
Hedrick (1983); Houghton e Turlington (1992)	1940	Foi utilizado pela primeira vez na Segunda Guerra Mundial sob a forma de SONAR
Temple <i>et al.</i> (1956)	1950	Primeira publicação utilizando ultrassom para avaliar animais nos Estados Unidos
Hedrick (1983); Houghton e Turlington (1992)		Na indústria de carne, o ultrassom foi usado como meio não-destrutivo para medir a gordura e músculo em animais vivos
Pathak <i>et al.</i> (2011)		O ultrassom modo-A tornou-se disponível em 1950
Wild e Reid (1952)	1959	Primeiro estudo com animais utilizando o modo-B
Stouffer <i>et al.</i> (1959)		A imagem em corte transversal do olho bovino foi produzida por um sistema de varredura B mecânica precoce melhorou ao montar o transdutor num carrinho que se movia
	Anos 1960 a 1970	
Stouffer <i>et al.</i> (1961)	1961	Estudos verificaram o desempenho dos aparelhos modo-A e modo-B com bovinos, ovinos e suínos
Szabo (2004)	1965	Primeiro equipamento mecânico em tempo real comercial
Busk (1984)	1976	Primeira aplicação do ultrassom em tempo real para avaliar características da carcaça de bovinos, ovinos e suínos
	Anos 1980	
Stanford <i>et al.</i> (1998)	1980	Uma série de pesquisas na área ao longo dos anos levou ao desenvolvimento do ultrassom em tempo real na década de 1980
Szabo (2004)	1987	Primeiro ultrassom 3D
	Anos 1990	
Stouffer <i>et al.</i> (1991)	1991	Foi usado pela primeira vez o aparelho Aloka 500 para estimar as características de carcaça de ovelhas

2

2.3.1 Equipamentos de ultrassom

O ultrassom é basicamente originado da reflexão ou transmissão de ondas emitidas por uma fonte externa (Abdullah, 2016). Após terem sido refletidos, os ultrassons podem ser monitorizados e, a partir da imagem obtida, é possível visualizar a distribuição espacial dos tecidos (Silva *et al.*, 2007a). As informações resultantes dos ecos podem ser monitorizadas por diferentes tipos de aparelhos (Figura 2.1). Os aparelhos modo A são os mais simples e apresentam a imagem em uma dimensão, porém, é o modo menos usado, exceto quando se deseja obter medições precisas de comprimento e/ou profundidade (Mattoon e Nyland, 2015). Ele mede a amplitude do eco contra o tempo, determinando as diferenças nos tecidos pela distância entre os ecos (Simm, 1983). Nos aparelhos modo B, os impulsos elétricos provenientes dos sinais de eco, são captados em um tubo de raios catódicos, fazendo a modulação do brilho dos pontos traçados (Silva *et al.*, 2007a). O RTU é uma tecnologia automatizada que fornece imagens de boa qualidade (Silva e Cadavez, 2012), e usa reflexão e propagação de ondas sobre a carne sem interferir em sua composição (Przybylak *et al.*, 2016). Esta técnica usa repetidos varrimentos, formando uma imagem quase instantânea (Simm 1983). Os equipamentos em tempo real mostram uma imagem em escala de cinza e isto é conseguido com um feixe de ultrassom através de campo de visão linear, triangular ou curvilíneo, muitas vezes por segundo, permitindo que seja revelado interfaces como gordura e músculo (Silva *et al.*, 2007a; Mattoon e Nyland, 2015). Os equipamentos modernos de ultrassons são capazes de gerar imagens precisas com grande repetibilidade, tendo o custo relativamente baixo além de apresentar facilidade de manuseio, ser fácil de transportar e robusto (Allen, 1990; Stanford *et al.*, 1998; Ribeiro e Tedeschi, 2012).

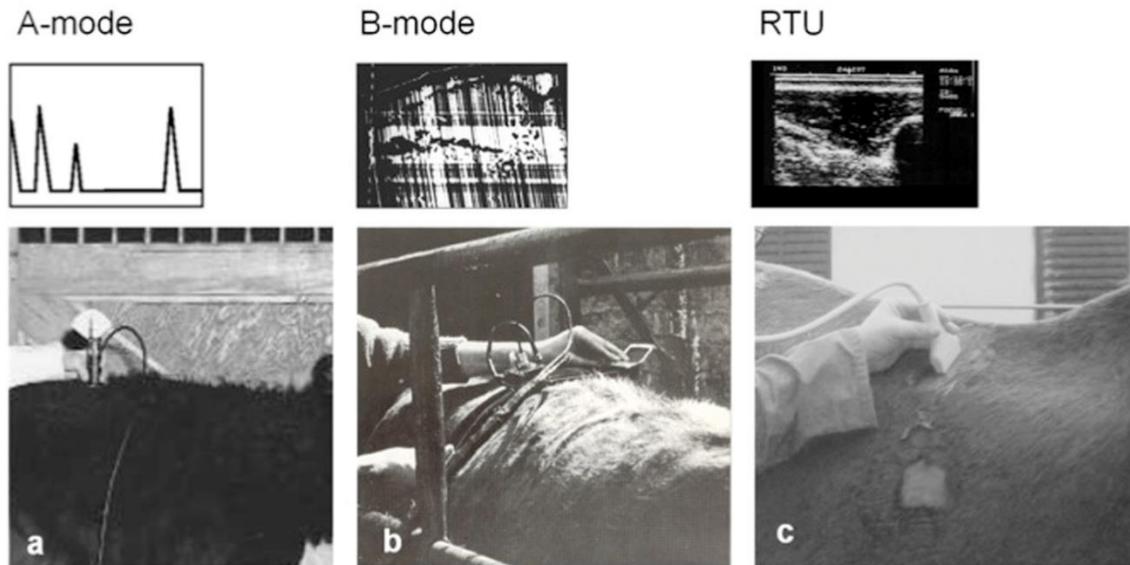


Figura 2.1- Representação dos diferentes tipos de monitorização modo A (a), modo B (b) e tempo real (c) (Adaptado de Lowman *et al.*, 1976; Stouffer, 2004).

2.3.2. Análise das imagens de RTU

A qualidade da carne pode ser determinada por avaliação visual e/ou análise de imagem, onde os resultados dessas avaliações determinam os preços de mercado da carne (Abdullah, 2016). A gordura intramuscular por exemplo, é avaliada visualmente pelos sistemas de classificação tradicionais, entretanto, apesar de ser uma prática comum apresenta grande subjetividade (Zhang *et al.*, 1994; Abdullah, 2016). É neste sentido que a utilização de sistemas práticos e eficientes, como a técnica de RTU e a análise de imagem, surgem como uma alternativa para melhorar a avaliação da qualidade da carne, mostrando que estas técnicas são ideais para garantir a qualidade em avaliações de rotina (Abdullah, 2016). O conhecimento da estrutura dos tecidos é extremamente importante para que a avaliação da imagem de ultrassom seja precisa (Figura 2.2). Para além disso, a dedicação e experiência do operador são elementos fundamentais na captura da imagem do ultrassom e posterior análise de imagem (Pathak *et al.*, 2011). Entretanto, as imagens de ultrassom apresentam alguns inconvenientes, como por exemplo a baixa resolução, a depender do tipo de frequência da sonda (Abdullah, 2016). De acordo com Arias *et al.* (2007) o processo de segmentação das imagens de ultrassom é um problema que apresenta dificuldades bastante particulares pois, as imagens de RTU possuem limites mal definidos e ruídos de imagem, trazendo dificuldade na interpretação.

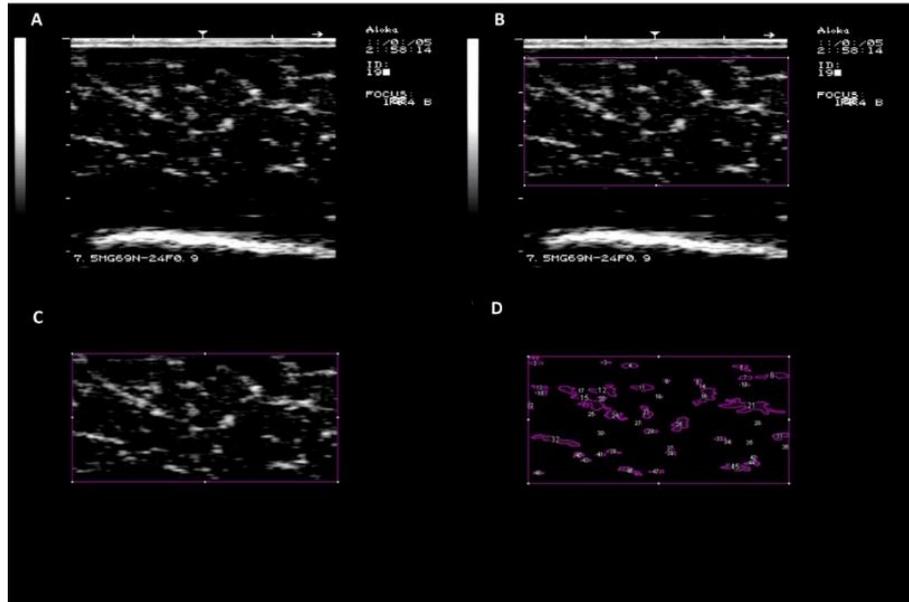


Figura 2.2- Análise de imagem para a determinação do marmoreado a partir de uma imagem de RTU pelo Software ImageJ.

Apesar das dificuldades presentes nas imagens de RTU, a análise e o processamento das imagens de ultrassom têm mostrado grande eficácia na classificação da qualidade da carne. De acordo com Zhang *et al.* (1994) as pesquisas nos últimos anos têm focado em técnicas de caracterização dos tecidos e estimativa da composição corporal e da carcaça e a percentagem da gordura intramuscular, tanto *in vivo* como *post-mortem*, como será discutido nos tópicos a seguir.

2.3.3. Utilização de ultrassom para estimar a composição corporal e a composição da carcaça

A partir da metade da década de 90 as pesquisas utilizando o RTU com o objetivo de avaliar a composição da carcaça associada à análise de imagem avançaram, elevando os resultados obtidos a um nível próximo aos obtidos com técnicas de tomografia computadorizada e ressonância magnética (Szabo *et al.*, 1999; Silva *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2007a). Entretanto, os primeiros trabalhos envolvendo RTU para estimar a composição da carcaça não apresentaram resultados muito animadores devido às limitações técnicas que existiam naquela época (Shelton *et al.*, 1977; Fortin, 1980). Como reportado em alguns trabalhos (Wilson, 1992; Amer *et al.*, 1998; McFarlane e Simm, 2008), a técnica de RTU é aplicada de forma sistemática em programas de melhoramento e é também utilizada como ferramenta para estimar a composição corporal dos animais bem como para estimar

características associadas à composição das carcaças. Vários trabalhos têm mostrado resultados satisfatórios com o uso da tecnologia de RTU (Slósz *et al.*, 2011; Li, 2010; Przybylak *et al.*, 2016). A estimativa da gordura intramuscular (Aass *et al.*, 2009; Harron e Dony, 2009; Silva *et al.*, 2010), o grau de marmoreado (Przybylak *et al.*, 2016), os rendimentos em peças e em tecidos (Silva *et al.*, 2013) e a determinação de um ponto ótimo de abate (Lambe *et al.*, 2010; Cartaxo *et al.* 2011) são excelentes exemplos dessa aplicação. O Quadro 2.3 apresenta um pequeno resumo da aplicabilidade dos ultrassons juntamente com peso corporal e medidas lineares para determinar os componentes da carcaça.

Quadro 2.3- Estimativa de rendimento, músculo e gordura na carcaça de ovinos utilizando medidas de ultrassom.

Estimativa/Referência	Espécie	n	Equipamento	Frequência da sonda	R ²	DPR
Rendimento de carcaça						
Shelton <i>et al.</i> (1977)	Ovinos	102	Scanogram		0,85	
Stanford <i>et al.</i> (1995)	Ovinos	57	Aloka 500	2,0 MHz	0,64	1,2
Fernández <i>et al.</i> (1998)	Ovinos	10	Toshiba SAL-32B	5,0 MHz	0,20	2,05
Orman <i>et al.</i> (2010)	Ovinos	20	Dynamic	7,5 MHz	0,31	1,23
Músculo						
Turlington (1989)	Ovinos	162	Technicare 210	3 MHz	0,89	
Silva <i>et al.</i> (2006)	Ovinos	46	Aloka 500		0,99	0,48
Silva <i>et al.</i> (2007b)	Ovinos	47	Aloka SSD 500V	3,5 MHz	0,91	0,53
Sahin <i>et al.</i> (2008)	Ovinos	40	Pie Medical Falco 100	8 MHz	0,80	0,63
Ripoll <i>et al.</i> (2009)	Ovinos	129	Aloka 900	7,0-10,0 MHz	0,59	144
Hajji <i>et al.</i> (2015)	Ovinos	14	Falco Vet	3,5 MHz	0,88	0,24
Gordura						
Silva <i>et al.</i> (2005)	Ovinos	31	Aloka SSD 500V	7,5 MHz	0,95	0,6
Silva <i>et al.</i> (2007b)	Ovinos	47	Aloka SSD 500V	3,5 MHz	0,86	1,13
Sahin <i>et al.</i> (2008)	Ovinos	40	Pie Medical Falco 100	8 MHz	0,84	0,24
Hajji <i>et al.</i> (2015)	ovinos	14	Falco Vet	3,5 MHz	0,90	0,15

De acordo com Silva *et al.* (2016), os melhores modelos de predição utilizados em estudos que determinam a composição da carcaça incluem, além das medidas de ultrassom, o peso vivo ou peso da carcaça. Para estimar a composição da carcaça o peso vivo é a variável mais usada nos modelos de estimativa, já que esta variável é capaz de explicar a variação da sua composição (Delfa *et al.*, 1992). Turlington (1989), por exemplo, conseguiu explicar 89% da variação do músculo na carcaça de ovinos ao investigar a precisão das medidas de ultrassom e medidas de carcaça em ovinos, utilizando uma equação que incluía o peso vivo, a espessura da gordura subcutânea e a área do músculo *longissimus thoracis et lumborum*. Além do músculo, a gordura é outro componente da carcaça que é estimada por RTU. Como sabemos, a

gordura da carcaça é o tecido que mais varia durante vida do animal, e de acordo com Silva *et al.* (2007a), isto é tão reconhecido que tem virado foco de trabalhos que estudam a composição da carcaça, principalmente os relacionados a RTU. De acordo com Fernandez *et al.* (1998), as medidas de ultrassons da gordura subcutânea são feitas frequentemente e tem mostrado resultados satisfatórios (Quadro 2.3). Algumas imprecisões na tomada das medidas de RTU devem ser levadas em consideração, apesar de parecerem óbvias num primeiro momento. Segundo Silva (2016), a contenção do animal, a localização dos pontos de referência, o contato e a pressão da sonda com a pele do animal, o operador e a interpretação das imagens são exemplos de fatores que influenciam nos resultados do ultrassom.

2.3.4. Estimativa *in vivo* e *post-mortem* da IMF por ultrassonografia em tempo real

Como mencionado anteriormente, o foco dos trabalhos de investigação dos últimos anos sobre a estimativa da composição da carcaça é, em especial, na redução da gordura e na valorização das carcaças. De acordo com Silva *et al.* (2007a) isso ocorre por dois motivos: um que diz respeito a saúde, onde o excesso de gordura animal na alimentação sugere problemas cardiovasculares e, o outro motivo, está relacionado a economia, onde os consumidores pagam pela gordura que não consomem ao preço do músculo. Por outro lado, é reconhecido que a gordura confere características sensoriais que são desejadas na carne. Foi com base nestas razões que técnicas para determinar *in vivo* as características da carcaça e em especial a percentagem de IMF começaram que ser desenvolvidas (Silva *et al.*, 2007a). Como consequência disso, a técnica de ultrassom passou a fazer parte de diversos estudos para estimar a percentagem de IMF (Hedrick *et al.*, 1962; Davis *et al.*, 1964; Newcom *et al.*, 2002; Bahelka *et al.*, 2009; Schwab *et al.*, 2010).

Como sabemos, a gordura desempenha um papel de grande importância na qualidade alimentar pois, ela afeta a qualidade da carne, principalmente algumas de suas propriedades como o sabor e a suculência (Wood *et al.*, 2008; Huang *et al.*, 2014). É reconhecido que a gordura intramuscular – que se refere à gordura química do músculo – ou o marmoreado – que se refere à aparência como se distribui a gordura no músculo – influenciam a qualidade da carne (Thompson, 2004; Gao e Zhao, 2009). De fato, os níveis de gordura intramuscular ou marmoreado estão associados com maior sabor, maciez e suculência, e isto aumenta a aceitação do consumidor (Corbin *et al.*, 2015; Okumura *et al.*, 2007).

Como uma das características da qualidade da carne que pode ser medida em animais vivos, a IMF, dentre outras características, é uma medida que auxilia na determinação de um ponto ótimo de abate (Newcom *et al.*, 2002; Aass *et al.*, 2009). A técnica de RTU é precisa e eficaz em determinar a gordura intramuscular, pois além de permitir que a IMF seja quantificada *in vivo* permite que sejam feitas repetidas medições no mesmo animal (Williams, 2002; Parnell, 2004). Dentro do músculo, a IMF está presente na forma irregular de depósitos apresentando-se aglomeradamente onde as células individuais são pequenas e não são visíveis a olho humano (Anon, 2004). O tamanho pequeno dos depósitos de IMF e sua superfície irregular geram ecos que produzem pontos que são referidos como partículas nas imagens de RTU, dando a esta técnica potencial para determinar a IMF *in vivo* após a análise da imagem com ultrassom (Brethour, 1990; Whittaker *et al.*, 1992).

Vários estudos têm sido feitos para estimar o conteúdo da IMF e do marmoreado por ultrassonografia em tempo real, tanto *in vivo* como *post mortem*, tendo sido encontrados resultados encorajadores. De fato, a maioria das investigações com a RTU foram realizadas em animais vivos o que beneficia, principalmente, estudos genéticos de espécies produtoras de carne (MacNeil *et al.*, 2010). Com desenvolvimento da tecnologia de ultrassom várias espécies foram analisadas *in vivo* e *postmortem* nos últimos anos (Tomka *et al.*, 2007; Polak *et al.*, 2008; Aass *et al.*, 2009; Silva *et al.*, 2010). O Quadro 2.4 sintetiza alguns trabalhos que utilizaram a tecnologia do RTU para estimar a gordura intramuscular.

Quadro 2.4- Resumo da determinação da percentagem de gordura intramuscular medido por ultrassons.

Referência	Espécie	n	Medida	Equipamento	Sonda	Localização	Software	Modelo	r	R ²	RSD
Silva <i>et al.</i> (2010)	Bovinos	26	<i>post mortem</i>	Aloka SSD 500V	7.5 MHz linear	3 ^a e 4 ^a vertebra lombar	Image J	Stepwise		0,85	0,79
Hassen <i>et al.</i> (2001)	Bovinos	500	<i>in vivo</i>	Aloka 500V	3.5 MHz linear	11 ^a e 13 ^a costela	USOFT software	Regressão		0,64	0,94
			<i>in vivo</i>	Scanner-CS200	3.5 MHz linear	11 ^a e 13 ^a costela	USOFT software	Regressão		0,72	0,84
Polak <i>et al.</i> (2008)	Bovinos	30	<i>in vivo</i>	Aloka 500V	5 MHz linear	Entre a 13 ^a torácica 1 ^a vertebra lombar	Optimas Version 6.5	Correlação	0,78		
Tomka <i>et al.</i> (2007)		75	<i>In vivo</i>	Aloka SSD 500V	3.5 MHz linear	Entre a 12 ^a e 13 ^a costela	Infratec 1265 – Meat analyzer	Correlação	0,47		
Aass <i>et al.</i> (2009)	Bovinos	172	<i>in vivo</i>	Scanner Pie 200 SLC	3.5 MHz linear	13 ^a vertebra torácica	QUIP software	Regressão Stepwise		0,80	0,66
Kim <i>et al.</i> (1998)	Bovinos	212	<i>in vivo</i>	Aloka 500V	3.5 MHz linear	11 ^a , 12 ^a e 13 ^a costela	PV-WAVE e MATLAB	Correlação e Regressão	0,78	0,62	1,44

Para investigar a capacidade do RTU em estimar a gordura intramuscular *postmortem* no músculo *Longissimus thoracis et lumborum*, Silva *et al.* (2010) utilizaram um aparelho Aloka SSD 500V com sonda de 7.5 MHz em 26 costeletas de novilhas cruzadas. Estes autores (Silva *et al.*, 2010) encontraram valores altos de coeficiente de determinação para a área e proporção das partículas de marmoreado ($R^2=0,66$ e $0,82$, respectivamente). Estes resultados sugerem que o RTU é uma ferramenta com grande capacidade para estimar a IMF. Resultados notáveis foram encontrados por Aass *et al.* (2009) ao estimar *in vivo* a IMF em bovinos ($R^2=0,80$ e $DPR=0,66$) indicando também que a RTU pode estimar a gordura intramuscular com alta precisão. Resultados semelhantes foram encontrados também por Kim *et al.* (1998), ($R^2= 0,62$ e $DPR=1,44$) ao usar o ultrassom para caracterizar o conteúdo da gordura intramuscular em bovinos.

2.4. Conclusões

As técnicas de imagem, e em particular a ultrassonografia em tempo real, mostram-se como uma ferramenta versátil que apresenta bons resultados na estimativa de características de qualidade da carne e da carcaça. A quantidade de gordura e o preço da carne são alguns dos fatores que influenciam a aceitação do consumidor, e é neste sentido, que a técnica de RTU desempenha um papel importante e não só para estimar a IMF, como também para determinar a composição da carcaça de forma viável do ponto de vista económico.

2.5. Referências

- Aass, L., Fristedt C.G. and Gresham, J.D., 2009. Ultrasound prediction of intramuscular fat content in lean cattle, *Livestock Science* 125, 177-186.
- Abdullah, M.Z., 2016. Image Acquisition Systems. In: *Computer vision technology for food quality evaluation* (2nd Edition). Ed.: Da-Wen Sun. Woodhead Publishing, California, USA 3–43.
- Allen, P., 1990. Measuring body composition in live meat animals. In Wood J D and Fisher A V, *Reducing fat in meat animals*, London, Elsevier, 201-254.
- Amer, P.R., Crump, R., Simm, G., 1998. A terminal sire selection index for UK beef cattle. *Animal Science* 67, 445-454.

- Anon. 2004. Visual assessment of marbling and meat colour, Meat technology update Newsletter 2/04.
- Arias, P., Pini, A., Sanguinetti, G., Sprechmann, P., Cancela, P., Fernández, A., ... and Randall, G., 2007. Ultrasound image segmentation with shape priors: application to automatic cattle rib-eye area estimation. In: Image Processing. IEEE Transactions on Image Processing, 16, 1637-1645.
- Argueello, A., 2011. Trends in goat research, a review. Journal of Applied Animal Research 39, 429-434.
- Bahelka, I., Oravcova, M., Peskovicova, D., Tomka, J., Hanusova, E., Lahucky, R., Demo, P., 2009. Comparison of accuracy of intramuscular fat prediction in live pigs using five different ultrasound intensity levels. Animal 3, 1205-1211.
- Barbin, D.F., ElMasry, G., Sun, D.-W., Allen, P., 2012. Predicting quality and sensory attributes of pork using near-infrared hyperspectral imaging. Analytica Chimica Acta 719, 30-42.
- Barbin, D.F., ElMasry, G., Sun, D.-W., Allen, P., Morsy, N., 2013. Non-destructive assessment of microbial contamination in porcine meat using NIR hyperspectral imaging. Innovative Food Science & Emerging Technologies 17, 180-191.
- Beattie, J.R., Bell, S.J., Farmer, L.J., Moss, B.W., Desmond, P.D., 2004. Preliminary investigation of the application of Raman spectroscopy to the prediction of the sensory quality of beef silverside. Meat Science 66, 903-913.
- Beattie, J.R., Bell, S.E.J., Borggaard, C., Moss, B.W., 2008. Preliminary investigations on the effects of ageing and cooking on the Raman spectra of porcine longissimus dorsi. Meat Science 80, 1205-1211.
- Bertram, H.C., Andersen, H.J., Karlsson, A.H., 2001. Comparative study of low-field NMR relaxation measurements and two traditional methods in the determination of water holding capacity of pork. Meat Science 57, 125-132.
- Brethour, J.R., 1990. Relationship of ultrasound speckle to marbling score in cattle. Journal of Animal Science 68, 2603-2613.

- Brienne, J.P., Denoyelle, C., Baussart, H., Daudin, J.D., 2001. Assessment of meat fat content using dual energy X-ray absorption. *Meat Science* 57, 235-244.
- Busk, H., 1984. Improved Danscanner for cattle, pigs and sheep. In: *In vivo Measurement of Body Composition in Meat Animals*. Ed.: Lister, D. London: Elsevier 158–62.
- Cartaxo, F.Q., Sousa, W.H., Cabral, H.B., Viana, J.A., Cezar, M.F., Soares, A.T., Freitas, F.F., 2011. Avaliação de carcaça em caprinos e ovinos em tempo real por ultrassonografia. Uma revisão de literatura. *Tecnologia & Ciência Agropecuária* 5, 51-55.
- Corbin, C.H., O'Quinn, T.G., Garmyn, A.J., Legako, J.F., Hunt, M.R., Dinh, T.T.N., ... and Miller, M.F., 2015. Sensory evaluation of tender beef strip loin steaks of varying marbling levels and quality treatments. *Meat Science* 100, 24-31.
- Costa, R.G., Cartaxo, F.Q., Santos, N.M., Egypto, R.C.R., 2008. Carne caprina e ovina: composição lipídica e características sensoriais. *Revista Brasileira de Saúde Produção Animal* 9, 497-506.
- Cunha, B.C.N., Belk, K.E., Scanga, J.A., LeValley, S.B., Tatum, J.D., Smith, G.C., 2004. Development and validation of equations utilizing lamb vision system output to predict lamb carcass fabrication yields. *Journal of Animal Science* 82, 2069-2076.
- Damez, J.-L., Clerjon, S., 2013. Quantifying and predicting meat and meat products quality attributes using electromagnetic waves: An overview. *Meat Science* 95, 879-896.
- Davis, J.K., Long, R.A., Warren, E.P., Carmon, J.L., Saffle, R.L., 1964. Use of ultrasonics and visual appraisal to estimate total muscling in beef cattle. *Journal of Animal Science* 23, 638-644.
- Delfa, R., Teixeira, A., Gonzalez, C., Blasco, I., 1992. Ultrasound estimates of the carcass composition of live Aragon lambs. *Proceedings of the 43^a Annual meeting of the European Association of Animal Production*, 364.
- Delgado, C.L., 2003. Rising consumption of meat and milk in developing countries has created a new food revolution. *Journal of Nutrition* 133, 3907-3910.

- Du, C.J., Sun, D.W., 2004. Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Trends in Food Science & Technology* 15, 230-249.
- Einarsson, E., Eythorsdottir, E., Smith, C.R., Jonmundsson, J.V., 2014. The ability of video image analysis to predict lean meat yield and EUROP score of lamb carcasses. *Animal* 8, 1170-1177.
- FAO. Food and Agriculture Organization. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. 2015. Acesso em 20 mai. 2015.
- Fernandez, C., Garcia, A., Vergara, H., Gallego, L., 1998. Using ultrasound to determine fat thickness and longissimus dorsi area on Manchego lambs of different live weight. *Small Ruminant Research* 27, 159–165.
- Fortin, A., 1980. Fat thickness measured with three ultrasonic instruments on live ram lambs as predictors of cutability. *Canadian Journal of Animal Science* 60, 857-867.
- Gao, S.-Z., Zhao, S.-M., 2009. Physiology, affecting factors and strategies for control of pig meat intramuscular fat. *Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture* 1, 59-74.
- Gotoh, T., Albrecht, E., Teuscher, F., Kawabata, K., Sakashita, K., Iwamoto, H., Wegner, J., 2009. Differences in muscle and fat accretion in Japanese Black and European cattle. *Meat Science* 82, 300-308.
- Hajji, H., Atti, N., Hamouda, M.B., 2015. In vivo fat and muscle weight prediction for lambs from fat- and thin-tailed breeds by real-time ultrasonography. *Animal science papers and reports* 33, 277–286.
- Harron, W., and Dony, R., 2009. Predicting quality measures in beef cattle using ultrasound imaging more options. *IEEE Symposium on computational intelligence for image processing*, 96-103.
- Hassen, A., Wilson, D.E., Amin, V.R., Rouse, G.H., Hays, C.L., 2001. Predicting percentage of intramuscular fat using two types of real-time ultrasound equipment. *Journal of Animal Science* 79, 11-18.

- Hedrick, H.B., Meyer, W.E., Zobrisky, S.E., Naumann, H.D., Alexander, M.A., 1962. Estimation of rib-eye area and fat thickness of beef cattle with ultrasonics. *Journal of Animal Science* 21, 362-365.
- Hedrick, H.B., 1983. Methods of estimating live animal and carcass composition. *Journal of Animal Science* 57, 1316-1327.
- Herrero, A.M., Cambero, M.I., Ordonez, J.A., De la Hoz, L., Carmona, P., 2008. Raman spectroscopy study of the structural effect of microbial transglutaminase on meat systems and its relationship with textural characteristics. *Food Chemistry* 109, 25-32.
- Houghton, P.L., and Turlington, L.M., 1992. Application of ultrasound for feeding and finishing animals: a review. *Journal of Animal Science* 70, 930-941.
- Huang, H., Liu, L., Ngadi, M. O., and Gariépy, C., 2014. Rapid and non-invasive quantification of intramuscular fat content of intact pork cuts. *Talanta*, 119, 385-395.
- Kim, N.D., Amin, V., Wilson, D., Rouse, G., Udpa, S., 1998. Ultrasound image texture analysis for characterizing intramuscular fat content of live beef cattle. *Ultrasonic Imaging* 20, 191-205.
- Kroger, C., Bartle, C.M., West, J.G., Purchas, R.W., Devine, C.E., 2006. Meat tenderness evaluation using dual energy X-ray absorptiometry (DEXA). *Computers and Electronics in Agriculture* 54, 93-100.
- Lambe, N.R., Ross, D.W., Navajas, E.A., Hyslop, J.J., Prieto, N., Craigie, C., Bungler, L., Simm, G., Roehe, R., 2010. The prediction of carcass composition and tissue distribution in beef cattle using ultrasound scanning at the start and/or end of the finishing period. *Livestock Science* 131, 193-202.
- Li, J., Tan, J., Martz, F.A., Heymann, H., 1999. Image texture features as indicators of beef tenderness. *Meat Science* 53, 17-22.
- Li, C., 2010. A web service model for conducting research in image processing. *Journal of Computing Sciences in Colleges*, 25, 294-299.

- Lowman, B.G., Scott, N.A., Sommerville, S.H., 1976: Condition scoring for cattle. East of Scotland College of Agriculture. Edinburgh School of Agriculture, Edinburgh, UK. Bulletin no. 6, 31 pp.
- MacFarlane, J.M., and Simm, G., 2008. Genetic improvement programme for meat type sheep: An experience from the United Kingdom. *Tecnologia e Ciência Agropecuária* 2, 15-22.
- MacNeil, M.D., Nkrumah, J.D., Woodward, B.W., Northcutt, S.L., 2010. Genetic evaluation of Angus cattle for carcass marbling using ultrasound and genomic indicators. *Journal of Animal Science* 88, 517-522.
- Maltin, C.A., Craigie, C.R., 2012. Overview to the FAIM I meeting farm animal imaging opportunities and challenges. In: *Farm Animal Imaging. Dublin 2012*. Ed. C. Maltin, C. Craigie and L. Bunger. 6-8.
- Mattoon, J.S., and Nyland, T.G., 2015. Fundamentals of Diagnostic Ultrasound. In: *Small animal diagnostic ultrasound. (Third edition)* Ed.: John S. Mattoon, Thomas G. Nyland. Elsevier Health Sciences 1-49.
- Narsaiah, K., Jha, S.N., 2012. Nondestructive methods for quality evaluation of livestock products. *Journal of Food Science and Technology-Mysore* 49, 342-348.
- Newcom, D.W., Baas, T.J., Lampe, J.F., 2002. Prediction of intramuscular fat percentage in live swine using real-time ultrasound. *Journal of Animal Science* 80, 3046-3052.
- Osawa, T., Kuchida, K., Hidaka, S., Kato, T., 2008. Genetic parameters for image analysis traits on *M-longissimus thoracis* and *M-trapezius* of carcass cross section in Japanese Black steers. *Journal of Animal Science* 86, 40-46.
- Orman, A., Caliskan, G.U., Dikmen, S., 2010. The assessment of carcass traits of Awassi lambs by real-time ultrasound at different body weights and sexes. *Journal of Animal Science* 88, 3428-3438.
- Okumura, T., Saito, K., Sakuma, H., Nade, T., Nakayama, S., Fujita, K., & Kawamura, T., 2007. Intramuscular fat deposition in principal muscles from twenty-four to thirty months of age using identical twins of Japanese Black steers. *Journal of Animal Science* 85, 1902-1907.

- Parnell, P.F., 2004. Industry application of marbling genetics: a brief review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 44, 697-703.
- Pathak, V., Singh, V.P., Sanjay, Y., 2011. Ultrasound as a Modern Tool for Carcass Evaluation and Meat Processing: A Review. *International Journal of Meat Science* 1, 83-92.
- Polak, P., Mendizabal, J.A., Roa, N.E.B., Krupa, E., Huba, J., Peskovicova, D., Oravcova, M., 2008. Prediction of intramuscular fat in live bulls using real-time ultrasound and image analysis. *Journal of Animal and Feed Sciences* 17, 30-40.
- Prieto, N., Navajas, E.A., Richardson, R.I., Ross, D.W., Hyslop, J.J., Simm, G., Roehe, R., 2010. Predicting beef cuts composition, fatty acids and meat quality characteristics by spiral computed tomography. *Meat Science* 86, 770-779.
- Przybylak, A., Boniecki, P., Koszela, K., Ludwiczak, A., Zaborowicz, M., Lisiak, D., Stanis, M., Slosarz, P., 2016. Estimation of intramuscular level of marbling among Whiteheaded Mutton Sheep lambs. *Journal of Food Engineering* 168, 199-204.
- Ribeiro, F.R.B., Tedeschi, L.O., 2012. Using real-time ultrasound and carcass measurements to estimate total internal fat in beef cattle over different breed types and managements. *Journal of Animal Science* 90, 3259-3265.
- Ripoll, G., Joy, M., Alvarez-Rodriguez, J., Sanz, A., Teixeira, A., 2009. Estimation of light lamb carcass composition by in vivo real-time ultrasonography at four anatomical locations. *Journal of Animal Science* 87, 1455–1463.
- Sahin, E.H., Yardimci, M., Cetingul, I.S., Bayram, I., and Sengor, E., 2008. The use of ultrasound to predict the carcass composition of live Akkaraman lambs. *Meat Science* 79, 716-721.
- Santos, V.A.C., Silva, S.R., Mena, E.G., Azevedo, J.M.T., 2007. Live weight and sex effects on carcass and meat quality of "Borrego terrincho-PDO" suckling lambs. *Meat Science* 77, 654-661.
- Savell, J.W., Cross, H.R., and Smith, G.C., 1986. Percentage ether extractable fat and moisture content of beef longissimus muscle as related to USDA marbling score. *Journal of Food Science* 51, 838–839.

- Schwab, C.R., Baas, T.J., Stalder, K.J., 2010. Results from six generations of selection for intramuscular fat in Duroc swine using real-time ultrasound. II. Genetic parameters and trends. *Journal of Animal Science* 88, 69-79.
- Silva, S.R., Gomes, M.J., Dias-da-Silva, A., Gil, L.F., Azevedo, J.M.T., 2005. Estimation in vivo of the body and carcass chemical composition of growing lambs by real-time ultrasonography. *Journal of Animal Science* 85, 350–357.
- Silva, S.R., Afonso, J.J., Santos, V.A., Monteiro, A., Guedes, C.M., Azevedo, J.M.T.D., and Dias-da-Silva, A., 2006. *In vivo* estimation of sheep carcass composition using real-time ultrasound with two probes of 5 and 7.5 MHz and image analysis. *Journal of animal science* 84, 3433-3439.
- Silva, S.R., Azevedo, J.M.T., Santos, V.C., Guedes, C.M., Cadavez, V.P., 2007 a. Utilização da técnica de ultra-sons para avaliação da composição de ovinos e caprinos. In: *Carcaça e carne de borrego e cabrito: avaliação da qualidade e da composição*. Ed. UTAD, 211-231.
- Silva, S.R., Guedes, C.M., Santos, V.A., Lourenço, A.L., Azevedo, J.M.T., & Dias-da-Silva, A., 2007 b. Sheep carcass composition estimated from *Longissimus thoracis et lumborum* muscle volume measured by in vivo real-time ultrasonography. *Meat science* 76, 708-714.
- Silva, S., Patricio, M., Guedes, C., Mena, E., Silva, A., Santos, V., Jorge, A., 2010. Assessment of muscle *longissimus thoracis et lumborum intramuscular* fat by ultrasonography and image analysis. 6th International Conference on Simulation and Modelling in the Food and Bio-Industry, 211-215.
- Silva, S.R, Cadavez, V., 2012. Real-time ultrasound (RTU) imaging methods for quality control of meats. In *Computer vision technology in the food and beverage industries*. Ed. Da-Wen Sun. Woodhead Publishing, Cambridge, UK. 277-329.
- Silva, S.R, Azevedo, J.M.T., Alves, V., Forte, F., Guedes, C.M., Santos, V.A., Almeida, J., Teixeira, A., 2013. Predicting commercial meat cuts yields in small size Barrosã cattle breed from video image analysis. In: *Farm Animal Imaging*. Hungary 2013. Ed. C. Maltin, C. Craigie and L. Bungler. 39.
- Silva, S.R., 2016. Use of ultrasonographic examination for *in vivo* evaluation of body composi-

- tion and for prediction of carcass quality of sheep. *Small Ruminant Research* 152,44-157.
- Simm, G., 1983. The use of ultrasound to predict the carcass composition of live cattle—a review. *Animal Breeding Abstracts* 51, 853–875.
- Shelton, M., Smith, G.C., Orts, F., 1977. Predicting carcass cutability of Rambouillet rams using live animal traits. *Journal of Animal Science* 44, 333-337.
- Slosarz, P., Stanisz, M., Boniecki, P., Przybylak, A., Lisiak, D., Ludwiczak, A., 2011. Artificial neural network analysis of ultrasound image for the estimation of intramuscular fat content in lamb muscle. *African Journal of Biotechnology* 10, 11792-11796.
- Stanford, K., Clark, I. and Jones, S.D.M., 1995. Use of ultrasound in prediction of carcass characteristics in lambs. *Canadian Journal Animal Science* 75, 185-189.
- Stanford, K., Jones, S.D.M., Price, M.A., 1998. Methods of predicting lamb carcass composition: A review. *Small Ruminant Research* 29, 241-254.
- Stouffer, J.R., 1959. Status of the application of ultrasonics in meat animal evaluation. *Proceedings of the Reciprocal Meat Conference* 12, 161–9.
- Stouffer, J.R., Wallentine, M.V., Wellington, G.H. and Diekmann, A., 1961. Development and application of ultrasonic methods for measuring fat thickness and rib-eye area in cattle and hogs. *Journal of Animal Science* 20, 759–67.
- Stouffer, J.R., 1991. Using ultrasound to objectively evaluate composition and quality of livestock. *21st Century Concepts Important to Meat-Animal Evaluation*. University of Wisconsin, Madison, 49–54.
- Stouffer, J.R., 2004. History of ultrasound in animal science. *Journal of Ultrasound in Medicine* 23, 577-584.
- Szabo, Cs., Babinszky, L., Verstegen, M.W.A., Vangen, O., Jansman, A.J.M., Kanis, E., 1999. The application of digital imaging techniques in the *in vivo* estimation of body composition of pigs: a review. *Livestock Production Science* 60, 1-11.
- Szabo, T.L., 2004. *Diagnostic Ultrasound Imaging: Inside Out*. Academic Press Series in Biomedical Engineering, Connecticut, USA.

- Temple, R.S., Stonaker, H.H., Howry, D., Posakony, G. and Hazaleus, M.H., 1956. Ultrasonic and conductivity methods for estimating fat thickness in live cattle. Proceedings, Western Section, American Society of Animal Science 7, 477–81.
- Tomka, J., Polak, P., Peskovicova, D., Krupa, E., Barton, L., Zaujec, K. 2007. Relationship between *in vivo* predicted and laboratory determined intramuscular fat content in bulls of different breeds Slovak. Journal of Animal Science 40,121–125.
- Thompson, J.M., 2004. The effects of marbling on flavour and juiciness scores of cooked beef, after adjusting to a constant tenderness. Animal Production Science 44, 645-652.
- Thompson, M.R., 2010. The future of portable ultrasound: Business strategies for survival. MSc Thesis of Science in engineering and management, Massachusetts Institute of Technology, USA.
- Turlington, L.M., 1989. Live Animal Evaluation of Carcass Traits for Swine and Sheep Using Real-Time Ultrasound. MSc Thesis. Kansas State University, 1–76.
- Turantas, F., Kilic, G.B., Kilic, B., 2015. Ultrasound in the meat industry: General applications and decontamination efficiency. International Journal of Food Microbiology 198, 59-69.
- Webb, E.C. 2014. Goat meat production, composition, and quality. Animal Frontiers 4, 33-37.
- Wild, J.J. and Reid, J.M., 1952. Application of echo-ranging techniques to the determination of structure of biological tissues. Science 115, 226–30.
- Williams, A.R., 2002. Ultrasound applications in beef cattle carcass research and management. Journal of Animal Science 80,183–188.
- Wilson, D.E., 1992. Application of ultrasound for genetic improvement. Journal of Animal Science 70, 973-983.
- Whittaker, A.D., Park, B., Thane. B.R., Miller, R.K. e Savell, J.W., 1992. Principles of ultrasound and measurement of intramuscular fat. Journal of Animal Science 70, 942-952.
- Woo, J.D., 2006. A Short History of the Development of Ultrasound in Obstetrics and Gynecology. Available from: <http://www.ob-ultrasound.net/history1.html> (Acesso em 15 de novembro, 2016).

Wood, J.D., Enser, M., Fisher, A.V., Nute, G.R., Sheard, P.R., Richardson, R.I., ... and Whittington, F.M., 2008. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat science* 78, 343-358.

Zapotoczny, P., Szczypinski, P.M., Daszkiewicz, T., 2016. Evaluation of the quality of cold meats by computer-assisted image analysis. *Lwt-Food Science and Technology* 67, 37-49.

Zhang, H.L., Wilson, D.E., and Rouse, G.H., 1994. Image analysis and application systems in quality evaluation and prediction for meat and live meat animals. In: *Image Processing. IEEE International Conference* 3, 241-244.

Avaliação da gordura intramuscular do músculo *Longissimus thoracis et lumborum* por análise de imagens resultantes de ultrassonografia em tempo real

Resumo- A gordura intramuscular (*do inglês intramuscular fat* - IMF), reconhecida pelo consumidor como marmoreado, tem um efeito favorável na qualidade da carne e, portanto, é uma característica importante a ser avaliada. O objetivo deste trabalho é estimar a IMF química do músculo *Longissimus thoracis et lumborum* (LTL) e os traços de marmoreado obtidos pela análise de imagem da ultrassonografia em tempo real (*do inglês real time ultrasound* - RTU). Cinquenta e quatro amostras do músculo LTL foram coletadas de novilhas Charolês x Holandesas. As imagens de RTU foram obtidas a partir de amostras do músculo LTL usando um scanner de RTU equipado com uma sonda de 7,5 MHz. Foi determinada a IMF química. As imagens RTU foram para análise de imagem por computador para determinar as características das partículas de marmoreado. Regressões simples e múltiplas foram estabelecidas entre a IMF química (Y) e as características das partículas de marmoreado determinadas por RTU (X). A regressão passo a passo (*Stepwise*) foi usada para encontrar o melhor modelo para estimar a IMF química. Uma grande variação foi encontrada para as características das partículas de marmoreado. Usando análise de regressão, foi possível estimar a IMF química com a proporção das partículas de marmoreado ($R^2 = 0,871$, $P < 0,0001$). O melhor ajuste explica 93% da variação da IMF química. Os resultados observados neste trabalho sugerem que a RTU associada a análise de imagem é uma ferramenta valiosa para estimar a IMF química do LTL sem destruir a costeleta.

3.1. Introdução

A carne é um dos elementos mais importantes da dieta humana contribuindo com nutrientes benéficos para a saúde (Cheng *et al.*, 2015). Um dos atributos mais importantes da carne, o marmoreado, determina sua qualidade e, segundo Elmasry *et al.* (2012a), é definido como a distribuição espacial e a quantidade de partículas de gordura visíveis presentes no músculo. O marmoreado é considerado como uma característica que afeta diretamente na decisão de compra do consumidor e este atributo é considerado, na maioria dos países desenvolvidos, um dos índices de avaliação para classificar a qualidade da carne, levando a uma correlação elevada entre o preço e o grau de marmoreado na carne (Cheng *et al.*, 2015). Para a indústria da carne de bovinos a qualidade da carne é fundamental porque, tanto o mercado nacional como o internacional têm colocado um maior destaque na qualidade do produto (Peña *et al.*, 2014) e com isso, a indústria da carne focou seu objetivo em fornecer produtos de qualidade que satisfizessem as expectativas dos consumidores (Slosarz *et al.*, 2011).

A quantidade de gordura e a distribuição dos depósitos de gordura (gordura subcutânea, gordura intermuscular e gordura intramuscular) através da carcaça e da carne influenciam o seu valor comercial e sua qualidade (Smith *et al.* 2008). Entre esses depósitos de gordura, a gordura intramuscular (do inglês *intramuscular fat*- IMF) é geralmente reconhecida pelo consumidor como marmoreado. O sabor, a suculência e a maciez, especialmente em bovinos, são atributos influenciados pela deposição do marmoreado na carne (Wheeler *et al.*, 1994; Albrecht *et al.*, 2006) e, portanto, melhora a aceitabilidade e palatabilidade esperada em peças com maior teor de IMF (Jackman *et al.*, 2008; Du *et al.*, 2008). O teor de gordura química (IMF química) é geralmente obtido pelo método de extração com éter (AOAC, 2000) e, embora este método seja considerado uma referência, ele é demorado, tedioso, caro e destrutivo e, por este, motivo exige que a carne seja vendida de outro modo. Além disso, este método é incapaz de fornecer a informação da distribuição espacial e tamanho de partículas de marmoreado (Albrecht *et al.*, 2006; Du *et al.*, 2008).

Reconhece-se que a distribuição e o tamanho das partículas marmoreado são relevantes para a qualidade da carne (Ferguson, 2004). A procura por técnicas para avaliar o marmoreado de forma eficaz e precisa têm aumentado nos últimos anos e isso têm levado a um aumento de investigações com o objetivo de avaliar o marmoreado de forma não destrutiva (Cheng *et al.*, 2015). Com a vantagem dos avanços na análise de imagem, observamos nos últimos anos um desenvolvimento crescente de técnicas não-invasivas, como, a ultrassonografia tempo real (*real*

time ultrasound - RTU), tomografia computadorizada (*computed tomography* - CT) e ressonância magnética (*magnetic resonance imaging* - MRI) que foram utilizadas para a avaliação do marmoreado tanto *in vivo* como diretamente na carcaça e na carne (Szabo *et al.*, 1999; Stouffer, 2004). Entre essas técnicas de imagem, e de um ponto de vista prático, a RTU é frequentemente usada em práticas de ciência animal devido ao seu preço inicial, os custos operacionais e a mobilidade, que são atributos que não são encontrados na tomografia computadorizada e na ressonância magnética. Nos últimos tempos, o uso do ultrassom começou a fazer parte na indústria de alimentos (De Prados *et al.*, 2015), tanto, que tem sido o foco de vários estudos em animais de produção, por exemplo, para avaliar os atributos marmoreado da carne (Brethour, 2000; MacNeil e Northcutt, 2008; Aass *et al.*, 2009). Apesar dos resultados promissores obtidos, mais pesquisas devem ser realizadas para compreender a distribuição do marmoreado no músculo, particularmente no *Longissimus thoracis et lumborum* (LTL) e para isso, é necessário melhorar o uso da técnica de imagem de RTU. Na verdade, um grande número de factores podem influenciar a exactidão, precisão e repetibilidade das medições de RTU. A maioria dos estudos concentram-se nos efeitos do animal, do técnico e dos equipamentos (McLaren *et al.*, 1991; Herring *et al.*, 1994), mas a qualidade da imagem é reconhecida como um fator especialmente importante (Stouffer, 2004). Admite-se que a qualidade das imagens de RTU depende do tipo de equipamento de ultrassom; do processo de digitalização de imagens usadas e da frequência da sonda (Hassen *et al.*, 2001; Silva *et al.*, 2006).

Nos últimos anos, os esforços têm sido focados em sistemas de análise de imagem (Wells, 2006) que melhoram muito a análise e reduz os erros do operador e da aquisição de imagem. Além disso, é necessário que o sistema de imagem usado para a avaliação da IMF da carne tenha flexibilidade e seja adaptável o suficiente para lidar com as variações de nível de marmoreado que é marcadamente afetada pela raça do animal, pelo sistema de produção e pelas preferências do consumidor, diferindo entre países e/ou regiões (Pipek *et al.*, 2004; Gotoh *et al.*, 2009). O objetivo com este estudo foi investigar a capacidade da RTU em estimar a IMF química no músculo *Longissimus thoracis et lumborum* (LTL) a partir de características de marmoreado obtidas após análise de imagem.

3.2. Material e métodos

3.2.1 Preparação das amostras

Cinquenta e quatro novilhas cruzadas (Charolês × Holstein) foram abatidas no matadouro da PEC - Nordeste (Penafiel, Portugal). Todos os animais foram tratados e abatidos de acordo com as regras e regulamentos para os cuidados com os animais da UE. O procedimento de abate consistiu no uso de uma pistola de dardo cativo seguido de sangria. Depois disso, as carcaças foram cortadas centralmente e divididas em dois lados e, em seguida, foram colocadas numa sala fria a 2°C por 2 dias *postmortem*.

De cada meia carcaça foram obtidas uma costeleta de 6 cm de espessura do músculo LTL entre a 3ª e 4ª vértebras lombares. Estas costeletas foram identificadas, pesadas e cortadas em duas secções cada uma com 3 cm de espessura. Estas secções foram individualmente embaladas a vácuo antes da sua utilização no trabalho experimental. Das costeletas LTL, uma secção foi usada para obter as imagens de RTU e a outra foi levada ao laboratório para determinação da IMF química.

3.2.2 Aquisição das imagens de ultrassom

O sistema de aquisição de imagem de RTU utilizado neste estudo foi composto por um scanner Aloka SSD em tempo real 500V (Tóquio, Japão) equipado com um transdutor linear de 7,5 MHz (UST-5512U-7,5, Tóquio, Japão). O equipamento de RTU foi conectado a uma câmara de vídeo (Sony DCR-HC96E, Tóquio, Japão), que registrou as imagens de RTU com resolução de 720 x 480 (345600 pixels). Estas imagens foram gravadas em formato de imagem TIFF (Tag Image File Format).

Para o procedimento de aquisição das imagens, a costeleta LTL foi posicionada sobre uma superfície plana e a sonda foi colocada ao longo do eixo principal sobre a sua superfície. Para aquisição da imagem de RTU as costeletas LTL estavam com aproximadamente $21,3 \pm 3,2^\circ\text{C}$ que está perto de temperatura de calibração do ultrassom (20°C) proposto por Thwaites (1984). Para a ultrassonografia todas as costeletas LTL foram examinados na mesma posição e seguindo o mesmo procedimento. Um gel (UltraPhonic, Codali, Newark, NJ, EUA) foi usado como um meio de acoplamento acústico para assegurar o contacto entre a sonda e a costeleta LTL.

3.2.3 Análise das imagens de ultrassom

Para avaliar as características de marmoreado nas imagens de ultrassom foi utilizado o software ImageJ (<http://rsb.info.nih.gov/ij/>). A determinação das características de marmoreado foram realizada após vários passos. O primeiro passo correspondeu a conversão da imagem original (Figura 3.1 A) em uma imagem de 8-bit na escala de cinzentos (Figura 3.1 B). Com base nesta imagem foi obtido um *threshold* para o marmoreado. Supõe-se que gordura intramuscular tem a mesma densidade acústica da gordura subcutânea e o nível de cinzento, conseqüentemente, são semelhantes em imagens de RTU. Para identificar o nível de cinzentos, cinco pontos de gordura subcutânea de cada imagem foram colhidos e analisados para calcular o valor de *threshold*. Este valor de *threshold* foi introduzido na imagem de 8-bit na escala de cinzentos, e uma região de interesse (RI) de 20 x 40 mm foi definida (Figura 3.1 C). Foi tomado cuidado na seleção de RI para que não fosse incluído a gordura subcutânea, que poderia ser confundida com o marmoreado e este erro poderia resultar da determinação de falsas partículas de marmoreado.

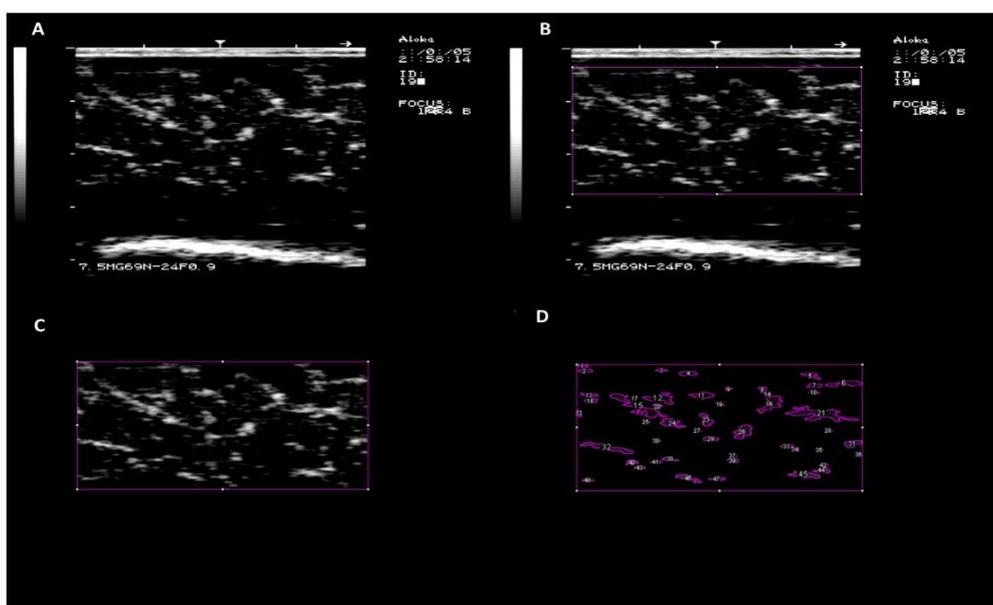


Figura 3.1- Passos da análise de imagem para a determinação das características das partículas de marmoreado. Imagem original de RTU (A); imagem de 8 bits na escala de cinzento com definição de uma região de interesse (B); aplicação do *threshold* e separação da área de interesse (C); obtenção dos dados relativos às partículas de marmoreado (D).

A segmentação da imagem foi realizada no quarto passo. Com base neste passo, os dados numéricos foram extraídos a partir da imagem (Figura 3.1 D) e várias características das

partículas de marmoreado foram determinadas. Como relatado por Yang *et al.* (2006), o tamanho da partícula de gordura deve ter, pelo menos, 4 pixels para ser considerado como uma partícula marmoreado. Este valor foi introduzido para a análise de características das partículas.

A partir da análise das imagens de RTU foram determinadas as seguintes características: número de partículas de marmoreado; área das partículas de marmoreado (mm^2); proporção das partículas de marmoreado (%), perímetro médio das partículas (mm); área da maior partícula de marmoreado (mm^2); perímetro maior das partículas de marmoreado (mm); partícula maior de marmoreado (mm). A área da partícula de marmoreado foi determinada como a área total de todas as partículas de marmoreado da secção do músculo LTL e a proporção das partículas de marmoreado foi calculada como área da partícula de marmoreado relacionado à área de RI expressa em percentagem. Para eliminar as diferenças subjetivas do operador, a aquisição e medidas das imagens foram feitas por apenas um operador, com experiência em tecnologia de ultrassom e interpretações de imagens.

3.2.4 Análise química por meio do método de extracção de Soxhlet

As amostras utilizadas para a determinação da IMF química embaladas a vácuo foram desembaladas e a gordura intermuscular e gordura subcutânea foram cuidadosamente separada do músculo LTL. Este procedimento é essencial para reduzir o erro na determinação da IMF química. As amostras de cada músculo LTL foram misturadas e homogeneizada antes da análise química. A composição da IMF química das amostras do músculo LTL foi obtida em triplicada depois da extracção em éter num Tecator Soxtec HT 1043 (Höganäs, Suécia), utilizando éter de petróleo como solvente. A IMF química foi determinada gravimetricamente após evaporação do solvente de acordo com o processo da AOAC (2000). O peso da IMF química foi expresso em percentagem do peso do músculo LTL.

3.2.5. Análise estatística

Foi realizada análise descritiva dos dados com a determinação da média, desvio padrão (dp), máximo, mínimo e coeficiente de variação (CV). As relações entre as características das partículas de marmoreado e a IMF química foram calculadas utilizando o procedimento de análise de regressão simples. As equações de regressão simples foram avaliadas com o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio padrão residual (DPR). Posteriormente, os

procedimentos de regressão foram utilizados para avaliar as relações entre as partículas de marmoreado e os traços da IMF química. A melhor equação de regressão foi selecionada com base na otimização do R^2 e do DPR (MacNeil, 1983). Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa JMP versão 5.0.1.2 (SAS Institute, Cary, NC, EUA).

3.3. Resultados e discussão

Os valores de média, dp, mínimo, máximo e CV do peso vivo, peso de carcaça quente, IMF química no músculo LTL e as características das partículas de marmoreado obtidos por RTU após a análise de imagens de ultrassom estão apresentados no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 - Média, desvio padrão (DP), mínimo (Min), máximo (Max) e coeficiente de variação (CV) do peso vivo, peso de carcaça quente, IMF química e características de partículas de marmoreado obtidos por análise de imagem de RTU (n = 54).

Variáveis	Média	dp	Mín	Máx	CV (%)
Peso vivo, kg	355,36	31,69	291,00	405,00	8,92
Peso de carcaça quente, kg	211,01	15,99	178,00	240,00	7,58
IMF química no músculo LTL, %	3,72	1,85	1,05	8,25	49,66
Características das partículas de marmoreado medidas por RTU					
Número das partículas de marmoreado	84,05	24,76	30,00	146,00	29,46
Área das partículas de marmoreado, mm ²	47,53	19,32	13,49	91,67	40,64
Proporção das partículas de marmoreado, %	6,31	2,63	1,69	11,46	41,62
Área média das partículas de marmoreado, mm ²	0,58	0,18	0,27	1,09	30,99
Perímetro médio das partículas de marmoreado, mm	4,65	0,86	2,89	6,96	18,58
Área da maior partícula de marmoreado, mm ²	6,53	4,35	1,80	27,46	66,59
Perímetro da maior partícula de marmoreado, mm	26,45	16,21	9,35	109,06	61,29
Partícula maior de marmoreado, mm	8,15	3,16	3,69	19,88	38,77

IMF = gordura intramuscular; LTL= Músculo *Longissimus thoracis et lumborum*.

A composição da IMF química do músculo LTL foi de 3,72% e, como esperado para a gordura, o coeficiente de variação é alto (CV = 49%). Outros autores (Chambaz *et al.*, 2003; Yang *et al.*, 2006) utilizaram bovinos com peso vivo similar ao do presente estudo e também encontraram resultados semelhantes para a quantidade de IMF química (entre 2,2 e 3,3%). No

entanto, alguns cuidados devem ser tomados quando se comparam os estudos sobre o conteúdo da IMF química, porque é reconhecido que esta característica apresenta uma grande variação entre raças (Gotoh *et al.*, 2009), regime alimentar (Pethick *et al.*, 2004) e sexo (Purchas e Wilkin, 1995). A variação na composição da IMF química do músculo LTL entre touros e novilhos pode ter diferenças consideráveis (Purchas *et al.*, 2002; Gotoh *et al.*, 2009). Por exemplo Tomka *et al.* (2007), ao avaliar a relação da gordura intramuscular estimada *in vivo* e a gordura intramuscular determinada em laboratório em diferentes raças de bovinos (Slovak Simmental, n=38; Beef Polled Simmental, n=14 e Charolês, n=23) verificaram que, o conteúdo da gordura intramuscular no músculo LTL foi de, em média, 2,13 %, variando de um mínimo de 0,78 a um máximo de 5,40, quando todo o conjunto de dados foi analisado (n=75). Já quando os dados foram considerados em grupos separados a IMF química média foi de 2,78 e 1,49% para os bovinos da raça Slovak Simmental e Beef Polled Simmental, e Charolês, respetivamente. Estes autores atribuíram a este facto o maior período de alimentação e a maior idade ao abate dos bovinos Slovak Simmental (Tomka *et al.*, 2007).

O mesmo cuidado também deve ser tomado quando se comparam a IMF medida por RTU. De acordo com Peña *et al.* (2014), que recentemente, ao investigar o desenvolvimento da costeleta de três raças de bovinos (Charolês, Limousin e Retina; n= 300) com a RTU verificaram que os touros iniciaram a fase de acabamento com um índice médio de IMF medido pelo RTU de 2,02% e terminaram o experimento com um valor IMF médio de 1,93%. Segundo estes autores, o maior valor da IMF medida por RTU no início do trabalho pode ser atribuído a fatores como pouca energia na dieta na fase de acabamento e a grande quantidade de tecido conjuntivo no músculo de animais jovens que pode ser confundido com a gordura intramuscular quando medido com a RTU (Peña *et al.*, 2014). Como mencionado anteriormente, é preciso ter um cuidado especial relativamente a aquisição e medidas das imagens de RTU. Este é um ponto importante a ser considerado quando se fala em obtenção de medidas de ultrassom: a experiência do operador. Ao investigar o uso da ultrassonografia para avaliar a composição corporal de vacas maduras (n= 87), Emenheiser *et al.* (2014) utilizaram dois técnicos experientes para avaliar e medir a gordura intramuscular. Neste estudo foi verificado que técnicos de ultrassom experientes são capazes de medir com precisão tanto os traços indicativos da composição corporal de vacas maduras como a gordura intramuscular (r= 0,93 e 0,90; P<0,0001, para o técnico A e B, respetivamente, em dias consecutivos).

A proporção das partículas de marmoreado medida por análise de imagem de RTU neste estudo é maior (6,3%) do que a composição da IMF química medida utilizando a extracção com

éter (3,7%) (Quadro 3.1). Este resultado está de acordo com o relatado por Yang *et al.* (2006), que salienta que o conteúdo da IMF química é dependente do peso (uma vez que é expresso em percentagem de peso), embora a proporção das partículas de marmoreado seja em função da área, e, portanto, o mesmo peso de gordura ocupa mais área em comparação com o músculo. Além disso, a gordura é armazenada nas células, que estão rodeadas por tecido conjuntivo, de modo que as áreas das partículas também podem incluir áreas de tecido conjuntivo, os vasos sanguíneos, e outros componentes (Yang *et al.*, 2006). Os resultados mostram ainda que as características das partículas de marmoreado medidas por RTU apresentam uma grande variação entre 18,5 e 66,5% para o perímetro médio das partículas e a área maior das partículas, respetivamente. A área, a proporção e a maior partícula de marmoreado apresentaram variação semelhante (CV entre 30,9 e 41,6%), que se aproxima da variação observada com a IMF química no músculo LTL (49%).

Regressões simples foram desenvolvidas para estimar a IMF química do músculo LTL a partir das características das partículas de marmoreado obtidas após a análise de imagem de RTU. Os valores de R^2 e DPR das equações obtidos são apresentados no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 - Equações, coeficiente de determinação (R^2) e desvio-padrão residual (DPR) entre a IMF química (Y) e as características das partículas de marmoreado medidos por análise de imagem de RTU (X) (n = 54).

Características de marmoreado (X)	Equação	R^2	DPR	P
Número das partículas de marmoreado	$Y = -1,84 + 0,066 X$	0,787	0,860	<,0001
Área das partículas de marmoreado, mm ²	$Y = -0,366 + 0,086 X$	0,808	0,816	<,0001
Proporção das partículas de marmoreado, %	$Y = -0,422 + 0,655 X$	0,871	0,669	<,0001
Área média das partículas de marmoreado, mm ²	$Y = -0,697 + 7,553 X$	0,550	1,250	<,0001
Perímetro médio das partículas de marmoreado, mm	$Y = -1,62 + 1,148 X$	0,289	1,571	<,0001
Área da maior partícula de marmoreado, mm ²	$Y = 1,844 + 0,286 X$	0,456	1,374	<,0001
Perímetro da maior partícula de marmoreado, mm	$Y = 1,724 + 0,075 X$	0,437	1,397	<,0001
Partícula maior de marmoreado, mm	$Y = 0,498 + 0,395 X$	0,457	1,372	<,0001

Os melhores preditores da IMF química do músculo LTL foram a proporção ($R^2 = 0,871$; $P < 0,0001$), a área ($R^2 = 0,808$; $P < 0,0001$) e o número das partículas de marmoreado ($R^2 = 0,787$; $P < 0,0001$). Estas características das partículas de marmoreado do músculo LTL podem fornecer dados confiáveis para estimar a composição da IMF química, uma vez que o marmoreado da carne é avaliado em termos de teor e distribuição das partículas de gordura (Peña *et al.*, 2013).

Estes resultados estão de acordo com aqueles obtidos em um estudo com bovinos Japanese Black e bovinos europeus (Gotoh *et al.*, 2009). Nesta investigação, os autores observaram que, para os bovinos Japanese Black, a IMF química do músculo está relacionada com a área e a proporção, mas não com o número de partículas de marmoreado. Uma correlação significativa ($r=0,70$; $P<0,01$) entre a proporção da área das partículas de marmoreado e o conteúdo da IMF química também foi observado por Yang *et al.* (2006). Estes autores estudaram traços de marmoreado em cinquenta e um touros mestiços, gerações F², da raça alemã Holandesa e Charolês por meio da análise de imagem por computador.

O perímetro da maior partícula de marmoreado, a área da maior partícula de marmoreado, partícula maior de marmoreado e a área média da partícula de marmoreado são as características que apresentam capacidade de baixa a moderada para explicar a variação da IMF química ($R^2=0,437$; $0,456$; $0,457$ e $0,550$, respetivamente), tendo sido o perímetro médio das partículas a única variável a apresentar 29% da variação da IMF química.

Além da ultrassonografia em tempo real outras técnicas para avaliar a gordura intramuscular têm apresentado resultados bastante satisfatórios. A tomografia computadorizada (CT), análise de imagem por computador e técnicas de coloração específicas são métodos propostos para superar algumas dificuldades encontradas na determinação da IMF (Albrecht *et al.*, 2006; Peña *et al.*, 2013). Relativamente à técnica de coloração da gordura intramuscular, existe uma percentagem da IMF que não é totalmente visível através do microscópio e, por este motivo, alguns estudos utilizaram métodos coloração (*oil red O*) para avaliar o marmoreado em carnes de bovinos. Peña *et al.* (2013) por exemplo, avaliaram o efeito da coloração sobre o marmoreado, além de estudarem a distribuição espacial e as características de partículas de gordura em amostras frescas e coradas do músculo *longissimus thoracis* de três raças de bovinos (Charolês, Limousin e Retina; $n=180$). Estes autores verificaram que a proporção, a densidade e o número de partículas de marmoreado foram afetadas pela coloração ($P<0,05$) e que a coloração mostrou pequenas partículas de gordura que não foram visíveis nas amostras frescas. No entanto, apesar da correlação entre a gordura intramuscular e o marmoreado das amostras frescas e coradas sugerir que a coloração pode ser usada para aumentar a precisão da medição das partículas, foi observado que ela não melhora a estimativa da gordura intramuscular (Peña *et al.*, 2013). Outros estudos com foco na determinação da gordura intramuscular, porém, utilizando a tomografia computadorizada têm demonstrado resultados satisfatórios. Segundo Afonso *et al.* (2007) a tomografia computadorizada permite a avaliação da composição corporal de animais vivos quando se pretende quantificar alterações nas proporções dos tecidos e

composição corporal, além do percentual de IMF. Trabalhos em bovinos mostram que esta técnica é uma excelente ferramenta para avaliar a IMF (Prieto *et al.*, 2010; Font-i-Furnols *et al.*, 2014). De facto, Prieto *et al.* (2010) ao investigarem a CT, analisaram o potencial desta técnica para determinar a composição das peças e características da carne de bovinos mestiços Aberdeen Angus (n= 88) e Limousin (n= 106) e verificaram, usando uma abordagem multivariada, que a IMF estimada apresentou resultados satisfatórios ($R^2= 0,71$ e $0,76$ para as carnes de Aberdeen Angus e Limousin, respetivamente). Os resultados obtidos neste estudo fornecem uma abordagem alternativa para estimar o conteúdo da IMF além da composição das peças e perfil dos ácidos gordos sem danificar as mesmas (Prieto *et al.*, 2010). Por seu lado, ao analisar diferentes formas para estimar o conteúdo da IMF na carne de bovinos Holstein (n=212), Font-i-Furnols *et al.* (2014), também utilizando a tomografia computadorizada, encontraram uma estimativa máxima de $R^2= 0,58$ e $RMES_{CV}= 0,75\%$ ao combinar os dados obtidos na região de interesse do lombo e os dados de toda a imagem.

A melhor equação de estimativa com a regressão múltipla foi gerada pelo procedimento passo a passo (*Stepwise*) para estimar IMF química das características das partículas de marmoreado (Quadro 3.3).

Quadro 3.3 - Equação de regressão múltipla desenvolvida a partir das características das partículas de marmoreado para estimar a IMF química (n= 54).

Passo	Coeficiente de regressão parcial						R^2	DPR
	Intercepto	PMF	MFA	PerLMF	LMF	NMF		
1	-0,422	0,655					0,868	0,669
2	-0,695	0,431	0,035				0,904	0,573
3	-0,781	0,330	0,039	0,021			0,924	0,508
4	-0,488	0,357	0,041	0,038	-0,121		0,932	0,481
5	-0,848	0,281	0,036	0,039	-0,134	0,014	0,938	0,460

PMF= Proporção das partículas de marmoreado (%); MFA= Área das partículas de marmoreado (mm^2); PerLMF= Perímetro da maior partícula de marmoreado (mm); LMF= Partícula maior de marmoreado (mm); NMF= Número das partículas de marmoreado.

O melhor ajuste para estimar a percentagem da IMF foi obtido com cinco variáveis das partículas de marmoreado - proporção; área; perímetro maior; maior partícula e número das

partículas de marmoreado ($R^2= 0,938$; $P <0,0001$; $DPR = 0,460\%$). A proporção das partículas de marmoreado foi um bom estimador da IMF química no músculo LTL e independente das outras variáveis respondeu por 86,8% da variação observada na IMF química. Quando as variáveis área, perímetro maior, maior partícula e número das partículas, além da proporção das partículas de marmoreado, foram usadas na equação de regressão múltipla, o R^2 do modelo foi melhorado tendo sido capaz de explicar 93,8% da variação da IMF química. Outros autores também relataram modelos promissores baseados na técnica de RTU e análise de imagem para estimar *in vivo* a IMF química (Hassen *et al.*, 2001; Polak *et al.*, 2008; Aass *et al.*, 2009). Hassen *et al.* (2001) examinaram 500 novilhos com dois tipos de equipamento de RTU (Aloka 500V e Classic Scanner-CS200, ambos equipados com uma sonda de 3,5 MHz), e relatou valores de R^2 variando de 0,64 ($DPR= 0,94\%$) para 0,72 ($DPR = 0,84\%$) para vários modelos de estimativa de IMF química. Resultados comparáveis foram observados por Aass *et al.* (2009) que usaram um Scanner Pie 200 SLC com uma sonda de 3,5 MHz em 172 touros e novilhos de diversas raças para obter imagens RTU. Após análise das imagens para as características de marmoreado e com medidas de tecido, os procedimentos de regressão foram utilizados e foi desenvolvido um modelo para estimar a IMF química ($R^2= 0,8$ e $DPR= 0,66\%$). Polak *et al.* (2008) estudaram duas raças de bovinos (Holstein, $n= 18$ e Slovak Simental $n= 12$) também usando um scanner Aloka 500 V mas, equipado com uma sonda de 5 MHz, e descobriram que o valor de cinza das imagens RTU medido por análise de imagem por computador foi significativamente correlacionada com o conteúdo da IMF química ($r= 0,60$ e $r= 0,78$; $P <0,01$, para as raças Holandesa e Slovak Simental, respectivamente). Durante a fase de acabamento de três raças de bovinos (Charolês, Limousin e Retina; $n= 300$), Peña *et al.* (2014) utilizaram a ultrassonografia em tempo real (equipamento Aquila Pro-Esaote PieMedical, com sonda de 3,5 Mhz) para compreender a evolução da costeleta e desenvolver equações para estimar, entre outras medidas, a gordura intramuscular. As equações de estimativa desenvolvidas com as medidas de ultrassom foram capazes de explicar 57% da variação da IMF (Peña *et al.*, 2014). As equações de regressão para estimar a IMF química a partir das medidas de ultrassom encontradas por Peña *et al.* (2014) foram baixas. A equação com o valor mais alto ($R^2=0,39$) incluiu medidas de ultrassom obtidas em tempos distintos durante o experimento (0; 60 e 90 dias antes do abate). Resultados superiores foram encontrados por Tomka *et al.* (2007), que ao estudar a relação da IMF química com as imagens de ultrassom encontraram correlações significativas entre as imagens de ultrassom e a IMF química (r entre 0,50 e 0,59). Recentemente, Jung *et al.* (2015) investigaram o uso da RTU (Aloka 500V - Crometrics Medical Systems, Inc., Wallingford, CT,

EUA) para estimar *in vivo* o percentual de IMF em quatro raças de suínos (Berkshire, n= 1.345; Duroc, n= 459; Landrace n= 245 e Large White n= 446). Seus resultados sugerem que a IMF química pode ser substituída por equipamentos de RTU para avaliar a gordura intramuscular de suínos vivos ($r= 0,75$ e $r= 0,76$; $P<0,01$, para a IMF química e gordura intramuscular obtida por RTU, respetivamente).

3.4. Conclusões

Os resultados encontrados sugerem que a RTU é uma ferramenta valiosa para estimar a IMF química no músculo LTL, sem destruir a costeleta, utilizando características de marmoreado obtidos após análise de imagem. De um ponto de vista prático, a técnica de RTU é adequada para avaliação dos traços de marmorização, uma vez que é bastante simples de se executar e seu custo é baixo em comparação com outras técnicas de imagem. Estudos futuros utilizando carcaças com uma maior variedade de IMF química pode proporcionar refinamento e otimização dos modelos de estimativa. Finalmente, com o avanço da tecnologia de RTU, pode-se esperar que a utilização da metodologia apresentada neste estudo seja utilizada para quantificar o conteúdo da IMF química e sua distribuição nos músculos onde esta informação poderia ser usada para apoiar as decisões comerciais.

3.5. Referências

- Aass, L., Fristedt, C.G., Gresham, J.D., 2009. Ultrasound prediction of intramuscular fat content in lean cattle. *Livestock Science* 125, 177-186.
- Afonso, J.J., Cadavez, V.P., Silva, S.R., 2007. Avaliação da composição de ovinos e caprinos por tomografia computadorizada e ressonância magnética nuclear. In: *Carcaça e carne de borrego e cabrito: avaliação da qualidade e da composição*. Ed. UTAD. 8, 187-209.
- Albrecht, E., Teuscher, F., Ender, K., Wegner, J., 2006. Growth- and breed-related changes of marbling characteristics in cattle. *Journal of Animal Science* 84, 1067-1075.
- AOAC, 2000. *Official methods of analysis* (17th ed.). Washington, DC: Association of Official Agricultural Chemists.
- Brethour, J.R., 2000. Using receiver operating characteristic analysis to evaluate the accuracy

in predicting future quality grade from ultrasound marbling estimates on beef calves. *Journal of Animal Science* 78, 2263-2268.

Chambaz, A., Scheeder, M.R.L., Kreuzer, M., Dufey, P.A., 2003. Meat quality of Angus, Simmental, Charolais and Limousin steers compared at the same intramuscular fat content. *Meat Science* 63, 491-500.

Cheng, W., Cheng, J.-H., Sun, D.-W., Pu, H., 2015. Marbling analysis for evaluating meat quality: methods and techniques. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 14, 523-535.

De Prados, M., Garcia-Perez, J.V., Benedito, J., 2015. Non-destructive salt content prediction in brined pork meat using ultrasound technology. *Journal of Food Engineering* 154, 39-48.

Du, C.-J., Sun, D.-W., Jackman, P., Allen, P., 2008. Development of a hybrid image processing algorithm for automatic evaluation of intramuscular fat content in beef *M-longissimus dorsi*. *Meat Science* 80, 1231-1237.

Elmasry, G., Barbin, D.F., Sun, D.-W., Allen, P., 2012. Meat quality evaluation by hyperspectral imaging technique: an overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 52, 689-711.

Emenheiser, J.C., Tait, R.G., Jr., Shackelford, S.D., Kuehn, L.A., Wheeler, T.L., Notter, D.R., Lewis, R.M., 2014. Use of ultrasound scanning and body condition score to evaluate composition traits in mature beef cows. *Journal of Animal Science* 92, 3868-3877.

Ferguson, D.M., 2004. Objective on-line assessment of marbling: a brief review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 44, 681-685.

Font-i-Furnols, M., Brun, A., Marti, S., Realini, C.E., Perez-Juan, M., Gonzalez, J., Devant, M., 2014. Composition and intramuscular fat estimation of Holstein bull and steer rib sections by using one or more computed tomography cross-sectional images. *Livestock Science* 170, 210-218.

Gotoh, T., Albrecht, E., Teuscher, F., Kawabata, K., Sakashita, K., Iwamoto, H., Wegner, J., 2009. Differences in muscle and fat accretion in Japanese Black and European cattle. *Meat Science* 82, 300-308.

- Hassen, A., Wilson, D.E., Amin, V.R., Rouse, G.H., Hays, C.L., 2001. Predicting percentage of intramuscular fat using two types of real-time ultrasound equipment. *Journal of Animal Science* 79, 11-18.
- Herring, W.O., Miller, D.C., Bertrand, J.K., Benyshek, L.L., 1994. Evaluation of machine, technician, and interpreter effects on ultrasonic measures of backfat and longissimus muscle area in beef-cattle. *Journal of Animal Science* 72, 2216-2226.
- Jackman, P., Sun, D.W., Du, C.J., Allen, P., Downey, G., 2008. Prediction of beef eating quality from colour, marbling and wavelet texture features. *Meat Science* 80, 1273-1281.
- Jung, J.-H., Shim, K.-S., Na, C.-S., Choe, H.-S., 2015. Studies on intramuscular fat percentage in live swine using real-time ultrasound to determine pork quality. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 28, 318-322.
- MacNeil, M.D., 1983. Choice of a prediction equation and the use of the selected equation in subsequent experimentation. *Journal of Animal Science* 57, 1328-1336.
- MacNeil, M.D., Northcutt, S.L., 2008. National cattle evaluation system for combined analysis of carcass characteristics and indicator traits recorded by using ultrasound in Angus cattle. *Journal of Animal Science* 86, 2518-2524.
- McLaren, D.G., Novakofski, J., Parrett, D.F., Lo, L.L., Singh, S.D., Neumann, K.R., McKeith, F.K., 1991. A study of operator effects on ultrasonic measures of fat depth and longissimus muscle area in cattle, sheep and pigs. *Journal of Animal Science* 69, 54-66.
- Pena, F., Molina, A., Aviles, C., Juarez, M., Horcada, A., 2013. Marbling in the longissimus thoracis muscle from lean cattle breeds. Computer image analysis of fresh versus stained meat samples. *Meat Science* 95, 512-519.
- Pena, F., Molina, A., Juarez, M., Requena, F., Aviles, C., Santos, R., Domenech, V., Horcada, A., 2014. Use of serial ultrasound measures in the study of growth- and breed-related changes of ultrasonic measurements and relationship with carcass measurements in lean cattle breeds. *Meat Science* 96, 247-255.
- Pethick, D.W., Harper, G.S., and Oddy, V.H., 2004. Growth, development and nutritional manipulation of marbling in cattle: a review. *Animal Production Science* 44, 705-715.

- Pipek, P., Jelenikova, J., Sarnovsky, L., 2004. The use of video image analysis for fat content estimation. *Czech Journal of Animal Science* 49, 115-120.
- Polak, P., Mendizabal, J.A., Roa, N.E.B., Krupa, E., Huba, J., Peskovicova, D., Oravcova, M., 2008. Prediction of intramuscular fat in live bulls using real-time ultrasound and image analysis. *Journal of Animal and Feed Sciences* 17, 30-40.
- Prieto, N., Navajas, E.A., Richardson, R.I., Ross, D.W., Hyslop, J.J., Simm, G., Roehe, R., 2010. Predicting beef cuts composition, fatty acids and meat quality characteristics by spiral computed tomography. *Meat Science* 86, 770-779.
- Purchas, R.W., Burnham, D.L., Morris, S.T., 2002. Effects of growth potential and growth path on tenderness of beef longissimus muscle from bulls and steers. *Journal of Animal Science* 80, 3211-3221.
- Purchas, R.W., Wilkin, G.H., 1995. Characteristics of lamb carcasses of contrasting subjective muscularity. *Meat Science* 41, 357-368.
- Silva, S.R., Afonso, J.J., Santos, V.A., Monteiro, A., Guedes, C.M., Azevedo, J.M.T., Dias-da-Silva, A., 2006. *In vivo* estimation of sheep carcass composition using real-time ultrasound with two probes of 5 and 7.5 MHz and image analysis. *Journal of Animal Science* 84, 3433-3439.
- Slosarz, P., Stanisz, M., Boniecki, P., Przybylak, A., Lisiak, D., Ludwiczak, A., 2011. Artificial neural network analysis of ultrasound image for the estimation of intramuscular fat content in lamb muscle. *African Journal of Biotechnology* 10, 11792-11796.
- Smith, G.C., Tatum, J.D., Belk, K.E., 2008. International perspective: characterisation of united states department of agriculture and meat standards australia systems will be assessing beef quality. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48, 1465-1480.
- Stouffer, J.R., 2004. History of ultrasound in animal science. *Journal of Ultrasound in Medicine* 23, 577-584.
- Szabo, C., Babinszky, L., Verstegen, M.W.A., Vangen, O., Jansman, A.J.M., Kanis, E., 1999. The application of digital imaging techniques in the *in vivo* estimation of the body composition of pigs: a review. *Livestock Production Science* 60, 1-11.

- Tomka, J., Polak, P., Peškovičová, D., Krupa, E., Bartoň, L., & Zaujec, K., 2007. Relationship between *in vivo* predicted and laboratory determined intramuscular fat content in bulls of different breeds. *Slovak Journal of Animal Science* 40,121-125.
- Thwaites, C., 1984. Ultrasonic estimation of carcass composition. *Australian Meat Research Committee* 47, 1- 32.
- Wells, P.N.T., 2006. State-of-Science Review: Non-invasive scanning and screening. Report Foresight Project Infectious Diseases: preparing for the future. 1-30.
- Wheeler, T.L., Cundiff, L.V., Koch, R.M., 1994. Effect of marbling degree on beef palatability in *bos-taurus* and *bos-indicus* cattle. *Journal of Animal Science* 72, 3145-3151.
- Yang, X.J., Albrecht, E., Ender, K., Zhao, R.Q., Wegner, J., 2006. Computer image analysis of intramuscular adipocytes and marbling in the *longissimus* muscle of cattle. *Journal of Animal Science* 84, 3251-3258.

PARTE II

Análise de imagem vídeo em carcaças

Uso de análise de imagem vídeo para avaliar a qualidade da carcaça e de peças em ruminantes: uma revisão

4.1. Introdução

A avaliação de carcaças de ruminantes tem sido realizada em vários países com diferentes sistemas de classificação (para revisão ler Polkinghorne e Thompson, 2010; Aalhus *et al.*, 2014; Pethick *et al.*, 2015). Os diversos sistemas de classificação têm por base a escolha de características que permitam agrupar as carcaças de modo consistente em diferentes categorias, de acordo com critérios de valorização que são ditados pelos consumidores e pelo mercado (Kempster *et al.*, 1982). O peso da carcaça, a conformação, a idade, o grau de maturidade, o sexo ou a cor da gordura são exemplos de características que são consideradas para a classificação (Polkinghorne e Thompson, 2010). Para além destas características são também obtidas medidas de gordura ou de músculo, por exemplo, a área do músculo *Longissimus thoracis et lumborum* (Polkinghorne e Thompson, 2010; Hopkins *et al.*, 2015). Desta forma, a classificação pretende ser uma ferramenta que contribui para a atribuição de um valor comercial diferenciado às carcaças (Price, 1995; Johansen *et al.*, 2006). A União Europeia criou um sistema de classificação da gordura e da conformação das carcaças, escalas EUROP, a aplicar em todo o território da União Europeia para bovinos e ovinos. De forma simples o sistema EUROP baseia-se na pontuação das carcaças utilizando uma escala para a gordura subcutânea e uma escala para a conformação. A aplicação da escala decorre da comparação com padrões fotográficos quer para o nível de gordura quer para a conformação. Este sistema tem por objetivo garantir um pagamento justo aos produtores e introduzir na cadeia de produção de carne de ovino e bovino uma informação que seja compreendida pelos diversos intervenientes nos mercados da União Europeia (Johansen *et al.*, 2006; Pethick *et al.*, 2015). Há, todavia, importantes limitações com este e com outros sistemas de avaliação das carcaças que tem uma abordagem suportada por indicadores subjetivos, como são as notações da confor-

rmação e do nível de gordura (Carigie *et al.*, 2012). Com o objetivo de atender as dificuldades existentes no atual sistema de avaliação e classificação de carcaças, tecnologias envolvendo análise de imagem têm sido desenvolvidas para complementar o sistema de classificação (Oliver *et al.*, 2010; Craigie *et al.*, 2012). Neste sentido avaliar as carcaças de forma objetiva e precisa numa linha de abate tornou-se um importante objetivo que tem sido perseguido nas últimas décadas (Stanford *et al.*, 1998a) mas, com importantes avanços nos anos mais recentes (Craigie *et al.*, 2012; Hopkins *et al.* 2015). Uma tecnologia que ganhou importância é a análise de imagem vídeo (em inglês *video image analysis-VIA*). Esta tecnologia oferece uma avaliação automática ou semi-automática das carcaças com base na análise das imagens nas quais se obtêm medidas de comprimento, largura, área, ângulo, volume e cor com as quais se estimam características das carcaças como os rendimentos da carcaça, a percentagem de carne vendável, o rendimento em peças, a percentagem de gordura ou ainda a muscularidade da carcaça (Pabiou *et al.*, 2011; Craigie *et al.*, 2012; Allen, 2005; Allen, 2007). Desse modo, é esperado que a avaliação por VIA introduza consistência na classificação, valorizando as carcaças e as peças de forma diferenciada e fazendo com que essa diferença se transmita no mercado criando um sistema de preços transparente que encoraje a eficiência na produção e uma redução de desperdício ao longo da cadeia (Ross *et al.*, 2013; Pethick *et al.*, 2015). É objetivo desta revisão fazer uma análise geral sobre a técnica VIA para avaliar a composição das carcaças e de peças e fazer uma análise mais detalhada da sua aplicação para a avaliação de carcaças de ovinos.

4.2. Evolução dos sistemas VIA aplicado à avaliação de carcaças de ruminantes

A avaliação das carcaças de ruminantes tem sido tradicionalmente realizada pela forma (conformação) e pelo nível de gordura de acabamento utilizado para comparação de padrões fotográficos com diversas classes, quer de forma quer de acabamento (De Boer *et al.*, 1974; Kempster *et al.*, 1982), tornando este processo de avaliação visual em uma análise subjetiva. No final dos anos 70 do século XX foi percebido que a utilização de um equipamento que mimetizasse a avaliação visual das carcaças, mas que também acrescentasse objetividade ao processo podia representar a chave para um sistema mais justo de pagamento baseado na qualidade e também para uma valorização diferenciada das carcaças (em inglês *value based payment and marketing system*). A primeira referência a um sistema de análise de imagem vídeo (VIA) aparece ligada a uma iniciativa nos EUA (Woerner e Belk, 2008). Em 1979 foi criado um grupo que incluía os serviços de agricultura (*United States Department of Agriculture* –

USDA) e organismos científicos (*National Aeronautics and Space Administration - NASA*) e que tinha por missão indicar qual tecnologia devia ser desenvolvida para realizar a avaliação das carcaças (Cross e Belk, 1994). A escolha da NASA recaiu nas tecnologias de ultrassons e de VIA (Cross e Whittaker, 1990). Foi determinado que a técnica VIA era a que reunia maior potencial para cumprir os atributos requeridos pelo USDA, que incluíam a necessidade de um sistema robusto, preciso, rigoroso e rápido. Em 1980 a Universidade do Kansas (*Kansas State University*) ganhou um projeto para desenvolver um protótipo de VIA (Woerner e Belk, 2008) e nos anos seguintes foram realizados vários trabalhos para compreender o potencial do sistema na avaliação de carcaças (Cross e Whittaker, 1990). Também no início dos anos 80 do século XX outros investigadores apresentaram trabalhos com sistemas VIA na Europa (Reino Unido – Anónimo, 1981; França – Augé, 1981; Dinamarca – Sørensen, 1984). Mais tarde no final da década de 1980 a Austrália apresentou o seu programa para um sistema VIA (VIAscan) que começou a ser utilizado em bovinos e ovinos a partir de 1989 (Stanford *et al.*, 1998b). Desde então até à atualidade foram desenvolvidos e instalados em linhas de matadouro vários sistemas de VIA para análise da carcaça completa ou das peças. O Quadro 4.1 resume os principais passos relacionados com o desenvolvimento e aplicação de sistemas VIA.

Quadro 4.1- Evolução da técnica de análise de imagem vídeo.

Referência	Data	País	Espécie alvo	Descrição do desenvolvimento/aplicação
Cross e Belk (1994)	1979	EUA	Bovino	Parceria entre os serviços de agricultura dos EUA (serviços de agricultura (<i>United States Department of Agriculture</i> – USDA) e organismos científicos (<i>National Aeronautics and Space Administration</i> - NASA) para escolha de uma tecnologia para avaliação das carcaças de bovinos. Escolha de um sistema VIA
Woerner e Belk (2008)	1980	EUA	Bovino	Protótipo KSU feito pela Universidade do Kansas
Anónimo (1981)	1981	GB	Bovino	Primeira referência a um sistema VIA para medir a gordura da carcaça
Augé (1981)	1981	França	Bovino	Patente de um equipamento para avaliar as carcaças
Cross et al. (1983)	1983-1986	EUA	Bovino	Aplicação de um sistema VIA a uma peça da secção torácica da carcaça
Woerner e Belk (2008)	1984	EUA		Reunião com os representantes da produção de bovinos, ovinos e suínos para discutir a aplicação de sistemas de avaliação da carcaça com destaque para o VIA
Sørensen (1984)	1984	Dinamarca	Bovino	Primeira referência de aplicação de um sistema de VIA para avaliar carcaças de bovinos
Stanford <i>et al.</i> (1998b)	1989	Austrália		Referência ao início de utilização VIAscan
Anónimo (2003)	1993	França	Bovino	Lançamento de estudos para um equipamento de classificação de carcaças automático - Normaclass
Horgan <i>et al.</i> (1995)	1995	GB	Ovinos	Primeiro trabalho com um sistema simples de VIA
Hopkins <i>et al.</i> (1996)	1996	Austrália	Ovinos	Primeiro trabalho com o sistema VIAscan para estimar muscularidade, M:O e peças
Madsen (2004)	1996	Dinamarca	Bovino	Primeiro trabalho com o sistema com BCC-2
Hopkins <i>et al.</i> (1997)	1997	Dinamarca	Bovino	Instalação do sistema BCC-2 em vários matadouros
Hopkins <i>et al.</i> (1997)	1997	Austrália	Ovinos	Primeiro trabalho com VIAscan para estimar o rendimento de carne magra
Allen e Finnerty (2000)	2001	Irlanda	Bovino	Relatório que compara 3 sistemas (VIAscan, BCC-2 e VBS2000)

GB= Reino Unido; M:O= Relação músculo osso.

4.3. Utilização do sistema VIA na avaliação de carcaças

Os sistemas de VIA apresentam vários atributos que os tornam uma ferramenta útil para a avaliação das carcaças. Estes atributos podem ser colocados em vários níveis. O primeiro diz respeito à objetividade da informação obtida. Um segundo nível relaciona-se com a valorização diferenciada da carcaça e de peças. O facto do sistema de classificação de carcaças depender do parecer humano acarreta falta de confiança por ser subjetivo e variar entre os avaliadores, o que se reflete no valor das carcaças (Allen e Finnerty, 2000). Com o intuito de ultrapassar o erro humano na avaliação visual das carcaças a utilização de sistemas VIA ganhou espaço (O'Sullivan *et al.*, 2003). A aplicação de técnicas VIA, das quais se espera uma maior precisão e maior repetibilidade que os métodos tradicionais de notação, permitem a atribuição de um valor justo e consistente às carcaças (Prevolnik *et al.*, 2011), e com isso fornece indicação da qualidade da carne e ajuda na comunicação ao longo da cadeia da produção de carne (Lambe *et al.*, 2009a; Chandraratne *et al.*, 2006). A incidência de erros numa avaliação subjetiva se dá

devido a falta de medições precisas, limitação do tempo de avaliação e as diferenças de habilidade e prática entre os avaliadores que são substituídos em diferentes épocas (Khojastehkey *et al.*, 2016).

Com o sistema VIA é possível incluir medidas da carcaça que conduzem a estimativas mais consistentes da qualidade das carcaças (Lambe *et al.*, 2009b). A este respeito Brady *et al.* (2003 a), num trabalho com cordeiros, ao avaliarem a classificação visual tradicional e três métodos VIA que também incluía o peso da carcaça, constataram que o sistema tradicional foi menos rigoroso que os três métodos VIA utilizados, com a valorização incorreta da maior parte das carcaças. Outros estudos também verificaram que as medições VIA estimam melhor o rendimento de carne vendável (do inglês *saleable meat yield* - SMY) do que a classificação visual (Rius-Vilarrasa *et al.*, 2009). Ainda com cordeiros e relativamente aos problemas de classificação com base num sistema subjetivo Einarsson *et al.* (2014), observaram que o sistema VIA apresentou uma estimativa mais precisa de rendimento de carne magra (do inglês *lean meat yield* – LMY) do que o atual sistema de classificação EUROP. Estes autores verificaram também uma boa estimativa da LMY das peças perna e pá. Já para a LMY do lombo não houve vantagem com aplicação da técnica VIA relativamente à classificação EUROP (R^2 respetivamente de 0,31 vs 0,32; $n=259$). De qualquer modo, estes autores (Einarsson *et al.*, 2014) concluíram que o sistema VIA utilizado (VIAscan) é uma boa opção de classificação quer da LMY da carcaça quer da LMY das peças. É neste sentido que Cannell *et al.* (1999) defendem que os modelos obtidos pelos sistemas VIA permitem acrescentar precisão na estimativa dos rendimentos de carcaça e das peças

Independentemente da espécie avaliada, é necessário obter informações que possibilitem o desenvolvimento das equações de estimativa para a sua validação (Silva *et al.*, 2007). De acordo com Craigie *et al.* (2012), validar o sistema VIA com base na sua capacidade em determinar a composição da carcaça seria a forma mais apropriada. Comparar o sistema VIA com o sistema de avaliação visual geralmente é um problema porque a comparação introduz as limitações de precisão associadas a esse tipo de avaliação (Craigie *et al.*, 2012). Vários trabalhos fizeram a comparação entre a informação obtida por VIA e a classificação EUROP para a conformação e para o nível de gordura (Allen e Finnerty, 2000 – bovinos; Normand e Ferrand, 2015; Einarsson *et al.*, 2014– ovinos). Para estudar a possibilidade de utilizar sistemas VIA na indústria de carne de bovino na Irlanda, Allen e Finnerty (2000) testaram três sistemas VIA (BCC2, SFK – Dinamarca; VBS200 E+V – Alemanha e VIAscan, Austrália) e verificaram uma forte concordância com a conformação (94 a 97%) entre estes

sistemas e a avaliação EUROP. Já para o nível de gordura os valores de concordância encontrados foram mais reduzidos (72 a 80%). Também nos trabalhos com ovinos foi verificado que a concordância entre a classificação VIA e a conformação era superior à observada para o nível de gordura. De facto, Einarsson *et al.* (2014) observaram uma concordância entre o VIA e a conformação de 82%, ao passo que para o nível de gordura essa concordância desceu para 73%. Resultados idênticos foram observados por Normand e Ferrand (2015), onde observaram intervalos de concordância de 72 - 82% e de 47 - 75% para a conformação e para o nível de gordura, respetivamente. Nestes trabalhos foram utilizados sistemas VIA equivalentes (VIAscan) e amostras de dimensões semelhantes ($n > 650$).

Estes resultados encorajam a possibilidade de aplicação dos sistemas VIA para a valorização das carcaças ou de peças de forma diferenciada. A possibilidade de valorização diferenciada das carcaças ou de peças assenta na capacidade de se obter uma informação precisa e individual. A indústria da carne, que se move a um ritmo acelerado, tem a necessidade de valorizar seus produtos. Por este motivo, surgiu a necessidade de buscar sistemas de classificação que possam auxiliar na determinação das características da carcaça que sejam cada vez mais detalhados, precisos, rápidos e capazes de reforçar o valor das carcaças ou peças com base no marketing. (Cannell *et al.*, 1999; Cannell *et al.*, 2002; Conroy *et al.*, 2010; Hocquette *et al.*, 2012). Este aspeto representa um enorme desafio uma vez que exige que cada carcaça ou peça seja tratada de forma individualizada. É neste plano que os sistemas VIA podem ser uma mais-valia para a indústria e que se espera que vá de encontro às necessidades do mercado e dos consumidores. Na verdade, nos últimos anos tem-se assistido a um aumento da procura pelos consumidores por produtos seguros, nutritivos, de boa qualidade e produzidos com recurso a práticas sustentáveis e com forte preocupação no bem-estar dos animais (Thornton, 2010; Hocquette *et al.*, 2012; Broom *et al.*, 2013). Por outro lado, há também uma crescente preocupação para a valorização diferenciada dos produtos resultantes da produção de carne (Bunger *et al.*, 2011). Esta nova atitude contrasta com o que foi e ainda é praticado em diferentes realidades económicas em que o objetivo prioritário da indústria é a obtenção de grandes quantidades de produtos a preços razoáveis ou, simplesmente, baratos (Astiz, 2008).

4.4. Utilização em ambiente industrial dos sistemas VIA

Como mencionado anteriormente, nas últimas décadas o desenvolvimento das tecnologias nos domínios da análise de imagem e na capacidade de processamento dos computadores abriu espaço para o avanço de métodos não destrutivos, com o objetivo de avaliar e determinar características de carcaça (Gupta *et al.*, 2013). Para atingir este objetivo a técnica de imagem utilizada tem que se mostrar robusta, fácil de utilizar, ser de baixo custo e gerar imagens precisas e com grande repetibilidade (Allen, 1990; Stanford *et al.*, 1998a). Para além destes atributos, a capacidade de obter imagens e informações à velocidade de uma linha de abate é um dos requisitos para um sistema VIA avaliar as carcaças de bovinos e ovinos em matadouros industriais (Craigie *et al.*, 2012; Hopkins *et al.*, 2004). No quadro 4.2 apresentam-se os sistemas comerciais utilizados nos matadouros industriais aplicados à bovinos e a ovinos. Neste ponto será dado destaque à aplicação destes sistemas aos ovinos, já que é a espécie alvo nos trabalhos práticos apresentados nos capítulos 5 e 6. Para uma revisão sobre os sistemas aplicados aos bovinos ver os trabalhos de Craigie *et al.* (2012) e Allen, (2005).

Quadro 4.2- Tipos de sistemas VIA comerciais aplicados a bovinos e ovinos

Referências*	Espécie	Sistemas	Fabricante	Velocidade (n/h)	Tipos de imagens capturadas e sistema de apresentação das carcaças	Pais onde está instalado#
8; 1; 2; 5	Bovino	BCC-2	Carometric A/S, Dinamarca	80–100	Imagem 2D para contorno de carcaça corrigido para luz ambiente, luz estruturada (bandas) para imagem 3D, pausa momentânea enquanto a carcaça é apresentada para análise	DK, DE, FR, ES
8; 1; 7; 20		CVS	Research Management Systems - RMS	300–450	Imagens 2D sem contato e sem interrupção	US
8; 1; 15; 3		MAC-2	Normaclass, França	≤120	Sistema de seis câmaras, carcaça apresentada por um mecanismo de posicionamento das carcaças para as câmaras	FR, CH, BE
8; 1; 2; 17		VBS 2000	E+V GmbH, Alemanha	120–450	Imagem 2D para esboço de carcaça, luz estruturada (bandas) para imagem 3D, pausa momentânea enquanto a carcaça é apresentada para análise	DE, FR, NO, UK, IRE, HU, UY
8; 1; 2; 20		VIAscan	Cedar Creek Company, Australia	>1200	Sem contato com carcaça, sem paragem para captura das imagens. Imagens 2D em ambos os lados de cada carcaça	AU, NZ, UY
6; 9	Ovinos	LVS	Research Management Systems - RMS	450	Imagem 2D da carcaça	US
10;11; 12; 13; 19; 16		VIAscan	Cedar Creek Company, Australia	300	Nenhum contato com carcaça, imagens 2D	NZ, IS, AU; CA, FR
4; 14; 18		VSS 2000	E+V GmbH, Alemanha	800	Carcaças suspensas e iluminadas, captura de imagens 2D. Imagens no plano dorsal e lateral	UK, DE

AU - Austrália; BE - Bélgica; CA - Canadá; CH - Suíça; DE - Alemanha; DK - Dinamarca; ES - Espanha; FR - França; GB - Reino Unido; HU - Hungria; IE - Irlanda; IS - Islândia; NO - Noruega; NZ - Nova Zelândia; US - Estados; UY - Uruguai

* 1= Allen (2007); 2= Allen e Finnerty (2000); 3= Anónimo (2003); 4 - Anónimo (2007); 5= Borggaard *et al.* (1996) ; 6= Brady *et al.* (2003a); 7= Cannel *et al.* (2002); 8 - Craigie *et al.* (2012); 9= Cunha *et al.* (2004); 10= Hopkins (1996); 11= Hopkins *et al.* (2004); 12= Hopkins *et al.* (1997); 13= Hopkins *et al.* (2002); 14= Masri *et al.* (2011); 15= Nicolas e Lebert (sd); 16= Normand e Ferrand (2015); 17= Pabiou *et al.* (2011); 18= Rius-Vilarrasa *et al.* (2009); 19= Stanford *et al.* (1998b); 20= Steiner *et al.* (2003).

4.4.1. Exemplos da aplicação de sistemas VIA em ovinos

Ao longo dos anos foram desenvolvidos vários sistemas VIA para aplicação em linhas de abate de ovinos como são exemplo o VIAScan, Cedar Creek Company, Australia (Hopkins *et al.*, 2004), VSS 2000, E+V GmbH, Alemanha (Rius-Vilarrasa *et al.*, 2010) e LVS, Research Management Systems - RMS, EUA (Cunha *et al.*, 2004) (Quadro 4.3). Esta técnica de avaliação tem sido aplicada com o objetivo de avaliar, de forma objetiva, a carcaça, com capacidade de estimar com rigor a classificação EUROP (Einarsson *et al.*, 2014), bem com a LMY e a SMY (Hopkins *et al.*, 2004; Rius-Vilarrasa *et al.*, 2010), assumindo-se como uma ferramenta para valorizar de forma diferenciada as carcaças. Nestes sistemas é possível captar imagens que servem como base para a determinação de uma série de medidas que são posteriormente usadas como variáveis independentes do sistema, descrevendo assim a conformação da carcaça e as proporções de músculo e gordura (Rius-Vilarrasa *et al.*, 2010). Esta avaliação é feita numa linha de abate sem interromper o fluxo normal do matadouro (Allen, 2007; Pabiou *et al.*, 2011). Estas técnicas são dispendiosas, mas podem oferecer um custo/benefício favorável quando são aplicadas em um grande número de animais (Silva *et al.*, 2007; Craigie *et al.*, 2012). Este é o aspeto chave para o sucesso de um sistema VIA (Hopkins *et al.*, 2015).

De acordo com Brady *et al.* (2003 b), os sistemas que englobam análise de imagens podem ser utilizados comercialmente para classificar as carcaças com precisão e a sua utilização facilita o desenvolvimento de um sistema de preços que são baseados no LMY e não no peso da carcaça. No Quadro 4.3 apresentam-se de forma resumida, resultados da estimativa da LMY e SMY de carcaças de ovinos obtidos por VIA.

Quadro 4.3- Estimativas do rendimento em carne magra (LMY) e do rendimento de carne vendável (SMY) de ovinos obtidas por sistemas VIA.

Referência	n	Equipamento	Y	X	R ²	DPR
Einarsson <i>et al.</i> (2014)	862	VIAscan®	LMY%	viaEUROPc +viaEUROPf	0,36	2,57
Hopkins <i>et al.</i> (2004)	360	VIAscan®	LMY%	VIA+HCW	0,52	2,17
Stanford <i>et al.</i> (1998b)	1211	VIAscan®	SMY%	VIA+CCW	0,71	
Cunha <i>et al.</i> (2004)	149	LVS	SMY%	LVS+HCW	0,68	0,02
Cunha <i>et al.</i> (2004)	149	LVS	SMY%	LVS+HCW +PF	0,72	0,02
Brady <i>et al.</i> (2003b)	246	LVS	SMY%	LVS + HCW	0,60	0,03

DPR= Desvio padrão residual; viaEUROPc= Classe de conformação EUROP do VIAscan®; viaEUROPf= Classe de gordura EUROP do VIAscan®; LMY%= rendimento de carne magra; SMY%= rendimento de carne vendável; HCW= peso de carcaça quente; PF= Percentagem de gordura; VIA= análise de imagem vídeo; CCW= Peso de carcaça quente.

Ao comparar o sistema de classificação EUROP e o VIAscan, Einarsson *et al.* (2014) verificaram que o VIAscan explicou 36% da variação do rendimento de carne magra (LMY% - *lean meat yield*) de cordeiros. Por seu lado, também utilizando o VIAscan em carcaças de cordeiros, Hopkins *et al.* (2004) encontraram valores razoáveis para estimar o rendimento de carne magra ($R^2 = 0,52$).

Relativamente ao rendimento de carne vendável (SMY%), Stanford *et al.* (1998b) relataram que o sistema VIAscan mostrou melhor capacidade de estimativa para o SMY% em comparação com o sistema de classificação Canadense, tendo sido o sistema VIA responsável por 71% da variabilidade observada. Utilizando a tecnologia LVS, Cunha *et al.* (2004) encontraram valores de R² de 0,68 para o rendimento de carne vendável quando incluíram o peso de carcaça quente no modelo. A precisão de rendimento foi melhorada quando foi incluído a percentagem de gordura ao modelo de estimativa (LVS+HCW+PF), explicando 72% da variação de carne vendável. Resultados semelhantes foram encontrados por Brady *et al.* (2003b), que verificaram R²=0,60 ao avaliar o sistema LVS juntamente com o peso de carcaça quente para estimar o SMY%.

Com a utilização de técnicas baseadas em imagens é possível também estimar o peso e o rendimento das peças além das características e rendimento de carne e carcaça. De acordo com Ngo *et al.* (2016), as variáveis obtidas com análise de imagens servem para reforçar o valor das carcaças e selecionar as peças. No Quadro 4.4 é possível observar a estimativa do peso e rendimento das peças de cordeiros obtidas por análise de imagem.

Quadro 4.4- Estimativa do peso e rendimento das peças de ovinos obtidas por análise de imagem.

Referência	n	Equipamento	Y	X	R ²	DPR
Ngo <i>et al.</i> (2016)	792	LDG	Filet kg	CWT + Age + L3 + Grade	0,60	
			Lombo kg	CWT + L8 + L1 + L3	0,62	
			Costeleta kg	CWT + L1 + L12 + L8	0,76	
			Garupa kg	CWT + L5 + Grade + L2	0,75	
			Perna kg	CWT + L2 + L5 + L8	0,94	
			Pá kg	CWT + Sex + L13 + Grade	0,95	
Rius-Vilarrasa <i>et al.</i> (2009)	443	VSS2000	Perna kg	VIAPrimals	0,97	0,16
			Perna (chump) kg	VIAPrimals	0,94	0,04
			Lombo kg	VIAPrimals	0,89	0,20
			Costeleta kg	VIAPrimals	0,86	0,16
			Pá kg	VIAPrimals	0,96	0,22
			Peso total dos cortes principais kg	VIAPrimals	0,99	0,25
Brady <i>et al.</i> , (2003b)	246	LVS	Pá kg	HCW + CxsLength+ShRi+LegGap+LwSum	0,85	0,50
			Costeleta kg	HCW+TaSum+LegGap	0,72	0,35
			Lombo kg	CxsLength+HCW+ShRi+TaSum+LwSum	0,75	0,20
			Perna kg	HCW+CxsLength+GroinA+LwSum+GrRtLeg	0,85	0,45
Cunha <i>et al.</i> (2004)	149	LVS	Rendimento dos cortes principais %	LVS+HCW	0,64	0,02
Cunha <i>et al.</i> (2004)	149	LVS	Rendimento dos cortes principais %	LVS+HCW +PF	0,66	0,02
Einarsson <i>et al.</i> (2014)	862	VIAscan®	Perna %	Model 1	0,60	1,04
			Lombo %	Model 1	0,31	0,72
			Pá%	Model 2 (VIAscan variables+PC-VIA)	0,47	1,16

DPR= Desvio padrão residual; LVS= lamb vision system; LDG= lamb digital grading; Filet kg (Tenderloin)= peso correspondente à especificação da carne de cordeiro da Nova Zelândia (3450); Lombo kg= peso correspondente à especificação da carne de cordeiro da Nova Zelândia (3434); Costeleta kg (French rack)= peso correspondente à especificação da carne de cordeiro da Nova Zelândia (3552); Garupa kg (Rump)= peso correspondente à especificação da carne de cordeiro da Nova Zelândia (3285); HCW= peso de carcaça quente; PF= percentagem de gordura; CWT- peso médio da carcaça; L3= distância vertical do ponto do corte da perna ao ponto de corte da pá até a 5ª costela; Grade- padrão da Nova Zelândia; L8= largura mais fina abaixo da media L7 e acima da pá; L1= distância vertical da linha do gambrel para o ponto de corte da perna traseira; L12= distância vertical do ponto do corte da perna ao ponto de corte da pá até a 5ª costela; L5= posição mais larga abaixo do ponto de virilha; Model 1= variáveis do VIAscan®; Model 2= composto pelas variáveis principais do VIAscan® e variáveis cruas; CxsLength= comprimento da carcaça; ShRi= escala de cor vermelha para a pá (intensidade ajustada); LegGap= distância entre as duas pernas; LwSum= soma de cinco medidas de largura da perna; TaSum= soma de 20 medidas totais da área de carcaça; GroinA= área da virilha; GrRtLeg= medida da virilha até a perna; VIAPrimals= pontuação e estimativas VIA das articulações primais da carcaça; Rendimento dos cortes principais %= percentagem com base no peso lateral da carcaça resfriada da perna, lombo, costeleta e pá.

Ao analisar o poder de estimativa das medidas da carcaça obtidas através de sistema VIA simples (*Lamb digital grading* - LDG) sobre o peso das peças da carcaça de cordeiros, Ngo *et al.* (2016) encontraram resultados que variaram de moderado a alto. Para as peças comerciais separadas de acordo com as especificações da carne de cordeiro da Nova Zelândia estes mesmos autores (Ngo *et al.*, 2016) obtiveram estimativas moderadas. Já para as peças principais, encontraram R^2 com alta capacidade de precisão explicando 94 e 95 % da variação do peso da perna e pá, respetivamente. Resultados semelhantes foram reportados por Rius-Vilarrasa *et al.* (2009), que ao compararem a tecnologia VIA com o sistema de classificação EUROP utilizado no Reino Unido, observaram que o sistema VIA proporcionou melhor precisão ao encontrar R^2 de 0,97, 0,96 e 0,99 para o peso da perna, pá e total das peças principais, respetivamente. Por seu lado, Brady *et al.* (2003b), a fim de avaliar o potencial do sistema LVS + HCW, verificaram que o peso de carcaça quente juntamente com variáveis VIA foi capaz de explicar 85, 72, 75, e 86% da variação no peso da pá, costela, lombo e perna, respetivamente. De acordo com estes autores (Brady *et al.*, 2003b), este modelo tem potencial para ajudar na indústria da carne de cordeiro. Relativamente ao rendimento das peças da carcaça, Cunha *et al.* (2004), utilizando o sistema LVS com o objetivo de validar equações anteriores, além de avaliar e desenvolver novas equações para estimar o rendimento das peças de cordeiro, verificaram que aquele sistema explicou 64 e 66% do rendimento das peças principais da carcaça. Einarsson *et al.* (2014) mostraram que o sistema VIASscan foi capaz de estimar o rendimento de carne magra da perna, lombo e pá em 60%, 31% e 47% respetivamente. Segundo estes autores (Einarsson *et al.*, 2014), o sistema automático VIAscan é capaz de estimar o rendimento de carne e das peças de cordeiros.

4.5. Desenvolvimento e aplicação de sistemas VIA de reduzido custo

Metodologias de baixo custo para determinar as características de carcaça e de carne de ruminantes por sistemas VIA têm sido estudadas como alternativa aos sistemas comerciais descritos anteriormente. O Quadro 4.5 apresenta alguns exemplos de sistemas de VIA de baixo custo.

Quadro 4.5- Sistemas VIA de baixo custo aplicados aos bovinos, ovinos e caprinos.

Referências	Espécie	Câmara	Software	Planos de captura das imagens
Kmethacek <i>et al.</i> (2000)	Bovino	Cannon Still Video Camera ION RC-260	Original Software	Dorsal, lateral e medial
Mendizabal <i>et al.</i> (2000)		Sony DSC-S75-S85	OPTIMAS v. 6.5, Media Cybernetics, USA	Lateral e dorsal
Sakowski <i>et al.</i> (2002)		Olympus C-1400XL		Dorsal, lateral e medial
Oliver <i>et al.</i> (2010)		Olympus E-300	OPTIMAS v. 6.5, Media Cybernetics, USA	Lateral e dorsal
Silva <i>et al.</i> (2013)		Canon EOS 450D	ImageJ 1.39j	Lateral e dorsal
Horgan <i>et al.</i> (1995)	Ovino	Cannon ION-pc	Imaging Technology Incorporated FG100-AT	Lateral e dorsal
Monteiro <i>et al.</i> (2012)	Caprino	Sony DCR-TRV440	ImageJ 1.38x	Lateral e dorsal

Os sistemas VIA desenvolvidos para aplicação comercial obrigam ao cumprimento de três atributos que elevam os custos. Em primeiro lugar, a necessidade de adequar o sistema à velocidade da linha de abate é muito elevada, o que obriga o desenvolvimento de sistemas muito rápidos para processar as imagens; em segundo lugar, a necessidade de ter sistemas automáticos para obtenção em tempo real da avaliação da carcaça. Este aspeto necessita de programas dedicados cuja calibração é muito dispendiosa; finalmente, a necessidade de todo o equipamento necessitar de protecção contra as condições do matadouro. Por estas razões os equipamentos VIA só têm justificação económica em unidades de grande dimensão. Este é um constrangimento que limita a aplicação desta técnica a unidades que não têm como adquirir tal tecnologia, que abatem um reduzido número de animais ou ainda que abatem um determinado tipo de animal, como são exemplo as raças autóctones, não padronizadas, que dão origem aos produtos com denominação de origem protegida ou indicação geográfica protegida (Oliver *et al.*, 2010). Para além do custo dos sistemas VIA é necessário espaço em matadouros pequenos, e esse espaço extra restringe a implementação de um sistema VIA (Craigie *et al.*, 2012). Para estes casos a possibilidade de aplicar um sistema VIA de reduzido custo com equipamentos simples e compactos, baseados em imagens digitais obtidas com câmaras fotográficas digitais correntes e utilizando um programa de análise de imagem (ex. ImageJ), abre a possibilidade de também se obter informação objetiva sobre a avaliação das carcaças e de estimar a SMY e LMY em unidades experimentais ou de matadouros de reduzida dimensão.

4.5.1. Exemplos da aplicação de um sistema VIA de reduzido custo

Como mencionado anteriormente, os métodos simples podem ser aplicados em locais pequenos e em raças de bovinos e ovinos com reduzido número de carcaças por ano e/ou com características de conformação que se afastem dos padrões de avaliação, mas que podem vir a ser valorizadas por um sistema VIA. As câmaras fotográficas com o auxílio de programas de análise de imagens tem sido utilizadas para estimar as mesmas características da carcaça que os equipamentos mais sofisticados, como por exemplo o LMY% (Monteiro *et al.*, 2012); o SMY% (Horgan *et al.*, 1995; Oliver *et al.*, 2010) ou as peças (Oliver *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2013). A obtenção das medidas de área, comprimento, largura e ângulo que são utilizadas para estimar aquelas características da carcaça podem ser obtidas a partir de uma abordagem manual como se ilustra na Figura 4.1. Para obter imagens que permitam uma medição rigorosa é de grande importância que as condições de captura dessas imagens sejam controladas no que diz respeito a luz e a posição da máquina relativamente às carcaças, e que as imagens obtidas sejam de elevada resolução.

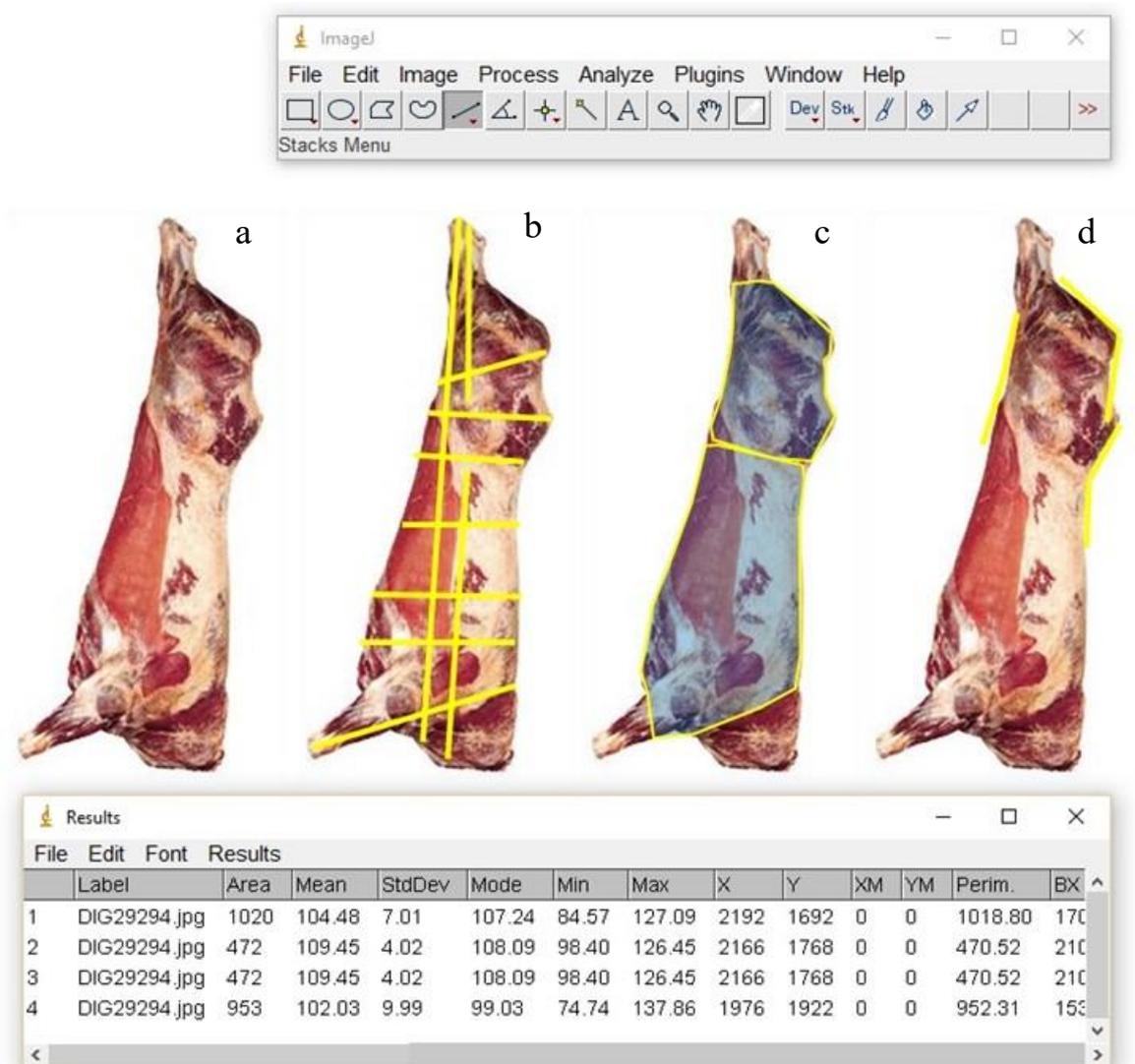


Figura 4.1- Vista lateral de uma carcaça bovina (a). Comprimentos e larguras (b); áreas e perímetros (c); ângulos (d); medidos com o Software ImageJ (adaptado de Batista *et al.*, 2016).

Para estimar o LMY e peças de 91 carcaças de bovinos, Oliver *et al.* (2010) utilizaram um sistema VIA de reduzido custo. Estes autores (Oliver *et al.*, 2010) utilizaram uma câmara digital Olympus E-300 e com o programa OPTIMUS v. 6.5 (Media Cybernetics, EUA) fizeram 33 medições morfométricas, entre elas, áreas, perímetros e comprimentos e verificaram que o sistema VIA foi capaz de estimar com boa precisão o LMY ($R^2 = 0,96$) e as peças extra ($R^2=0,79$), de primeira ($R^2=0,94$), segunda ($R^2=0,84$) e terceira categoria ($R^2=0,90$). Com o método EUROP de classificação de carcaça os resultados foram inferiores. Também em ovinos foi possível verificar que um sistema de baixo custo permitiu melhores resultados na estimativa da SMY que a avaliação da carcaça feita por especialistas (Horgan *et al.*, 1995). Os trabalhos em unidades pequenas podem apresentar melhores resultados como é indicado por Lambe *et al.* (2009b), que realizaram um trabalho num matadouro de investigação onde as carcaças foram

avaliadas por um único avaliador. Estes autores (Lambe *et al.*, 2009b) apontam que os resultados obtidos seriam inferiores caso fossem realizados num matadouro comercial com uma linha de elevada velocidade e com diferentes avaliadores.

4.6. Conclusões

Os sistemas VIA mostram ser uma ferramenta muito útil para estimar características da carcaça de forma não destrutiva e rápida. Verifica-se que a informação obtida por estes sistemas permite uma avaliação superior aos sistemas de avaliação subjetivos feito por notadores. Para além disto, é possível com os sistemas VIA obter informação sobre características relevantes da carcaça como são exemplo a percentagem de carne magra e a percentagem de carne vendável. Este facto permite introduzir mais transparência na avaliação das carcaças o que permite um pagamento mais consistente e mais justo. Para além disso, com aquela informação, é possível obter uma valorização diferenciada da carcaça, introduzindo valor na cadeia de produção de carne. Os sistemas VIA de reduzido custo também permitem explicar a variação das características das carcaças, tornando exequível a sua introdução em unidade de abate de reduzida dimensão.

4.7. Referências

- Aalhus, J. L., López-Campos, Ó., Prieto, N., Rodas-González, A., Dugan, M. E., Uttaro, B., & Juárez, M. 2014. Review: Canadian beef grading-opportunities to identify carcass and meat quality traits valued by consumers. *Canadian Journal of Animal Science*, 4, 545-556.
- Allen, P., 1990. New approaches to measuring body composition in live meat animals. In: Wood, J.D., Fisher, A.V. (Eds.), *Reducing Fat in Meat Animals*. Elsevier, London, UK, 201-247.
- Allen, P., & Finnerty, N., 2000. Objective beef carcass classification. A report of a trial of three VIA classification systems. Ashtown National Food Center, Dublin 15, Teagasc publication. 34 pages.
- Allen, P., 2005. Evaluating video image analysis (VIA) systems for beef carcass classification. *The science of beef quality. Proceedings of Annual Meeting of the British Society of Animal Science*, Bristol University, 9-12.

- Allen, P., 2007. New methods for grading beef and sheep carcasses. In Lazzaroni, C Gigli, S and Gabiña D, Evaluation of carcass and meat quality in cattle and sheep. EAAP publications No. 123, Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 39–48.
- Anónimo 1981. Video fat measurement – a new way of guaranteeing meat quality. *Meat*, 54, 14-15.
- Anonimo, 2003. Normaclass Presentation.
- Anonimo, 2007. Video Image Analysis (VIA) for sheep carcasses. A summary report on an evaluation of the classification and meat yield of sheep pp.1–6.
- Astiz, C.S., 2008. Qualidade da carcaça e da carne ovina e caprina em face ao desenvolvimento da percepção do consumidor. *Revista Brasileira de Zootecnia* 37, 143- 160.
- Augé, 1981. Appareil pou le mesure des caractéristiques de classification des animaux de boucheries abattus. European Patent Application EP 0 046 704 A2.
- Batista, A.C.S., Teixeira, A., Santos, V., Azevedo, J., Guedes, C., Silva, S. 2016. Use of a video image analysis method to assess composition and cut yields in light lamb carcasses. In: *Raças Autóctones no Espaço Ibérico: um recurso sustentável*. Ed. A.A. Marta-Costa, M.L. Tibério, R.P.Carreira. UTAD pp. 92-99.
- Borggaard, C., Madsen, N.T., and Thodberg, H.H. 1996. In-line image analysis in the slaughter industry, illustrated by beef carcass classification. *Meat Science* 43, 151-163.
- Brady, A.S., Cunha, B.C.N., Belk, K.E., LeValley, S.B., Dalsted, N.L., Tatum, J.D., and Smith, G.C., 2003 a. Use of lamb vision system to predict carcass value. *Sheep And Goat Research Journal* 18, 18-24.
- Brady, A.S., Belk, K.E., LeValley, S.B., Dalsted, N.L., Scanga, J.A., Tatum, J.D., Smith, G.C., 2003 b. An evaluation of the lamb vision system as a predictor of lamb carcass red meat yield percentage. *Journal of Animal Science* 81, 1488-1498.
- Broom, D.M., Galindo, F.A., Murgueitio, E., 2013. Sustainable, efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 280.

- Bunger, L., Macfarlane, J.M., Lambe, N.R., Conington, J., Mclean, K.A., Moore K., Glasbey, C.A., and Simm, G., 2011. Use of X-Ray computed tomography (CT). In: UK sheep production and breeding. Ed. S. Karuppasamy, CT scanning - Techniques and applications, INTECH Open Access Publisher 239–348.
- Cannell, R.C., Tatum, J.D., Belk, K.E., Wise, J.W., Clayton, R.P., Smith, G.C., 1999. Dual-component video image analysis system (VIASCAN) as a predictor of beef carcass red meat yield percentage and for augmenting application of USDA yield grades. *Journal of Animal Science* 77, 2942-2950.
- Cannell, R.C., Belk, K.E., Tatum, J.D., Wise, J.W., Chapman, P.L., Scanga, J.A., Smith, G.C., 2002. Online evaluation of a commercial video image analysis system (Computer Vision System) to predict beef carcass red meat yield and for augmenting the assignment of USDA yield grades. *Journal of Animal Science* 80, 1195-1201.
- Chandraratne, M.R., Kulasiri, D., Frampton, C., Samarasinghe, S., Bickerstaffe, R., 2006. Prediction of lamb carcass grades using features extracted from lamb chop images. *Journal of Food Engineering* 74, 116-124.
- Conroy, S.B., Drennan, M.J., McGee, M., Keane, M.G., Kenny, D.A., Berry, D.P., 2010. Predicting beef carcass meat, fat and bone proportions from carcass conformation and fat scores or hindquarter dissection. *Animal* 4, 234-241.
- Craigie, C.R., Navajas, E.A., Purchas, R.W., Maltin, C.A., Buenger, L., Hoskin, S.O., Ross, D.W., Morris, S.T., Roehe, R., 2012. A review of the development and use of video image analysis (VIA) for beef carcass evaluation as an alternative to the current EUROP system and other subjective systems. *Meat Science* 92, 307-318.
- Cross, H. R., Gilliland, D. A., Durland, P. R. e Seideman, S., 1983. Beef carcass evaluation by use of a video image analysis system. *Journal of Animal Science* 57, 908-913
- Cross, H.R., Belk, K.E., 1994. Objective measurements of carcass and meat quality. *Meat Science*. 36, 191–202.
- Cross, R., Whittaker, A.D., 1990. The role of instrument grading in a beef value-based marketing system. *Journal of Animal Science* 70, 984–989.

- Cunha, B.C.N., Belk, K.E., Scanga, J.A., LeValley, S.B., Tatum, J.D., Smith, G.C., 2004. Development and validation of equations utilizing lamb vision system output to predict lamb carcass fabrication yields. *Journal of Animal Science* 82, 2069-2076.
- De Boer, H., Dumont, B.L., Pomeroy, R.W., and Weniger, J.H. 1974. Manual on E.A.A.P. reference methods for the assessment of carcass characteristics in cattle. *Livestock Production Science*, 1, 151–164.
- Einarsson, E., Eythorsdottir, E., Smith, C.R., Jonmundsson, J.V., 2014. The ability of video image analysis to predict lean meat yield and EUROP score of lamb carcasses. *Animal* 8, 1170-1177.
- Gupta, S., Kumar, A., Kumar, S., Bhat, Z.F., Hakeem H.R., Abrol, A.P.S., 2013. Recent trends in carcass evaluation techniques: a review. *Journal Of Meat Science And Technology* 1, 50-55.
- Hocquette, J.-F., Botreau, R., Picard, B., Jacquet, A., Pethick, D.W., Scollan, N.D., 2012. Opportunities for predicting and manipulating beef quality. *Meat Science* 92, 197-209.
- Hopkins, D.L., 1996. The relationship between muscularity, muscle: bone ratio and cut dimensions in male and female lamb carcasses and the measurement of muscularity using image analysis. *Meat Science* 44, 307-317.
- Hopkins, D.L., Fogarty, N.M., Menzies, D.J., 1997. Differences in composition, muscularity, muscle:bone ratio and cut dimension between six lamb genotypes. *Meat Science* 45, 439–450.
- Hopkins, D.L., Safari, E., & Fogarty, N.M. 2002. Conformation assessment of lamb carcasses and measurement using VIAScan. In *Proceedings of the Australian Society of Animal Production* 24, 97-100.
- Hopkins, D.L., Safari, E., Thompson, J.M., Smith, C.R., 2004. Video image analysis in the Australian meat industry - precision and accuracy of predicting lean meat yield in lamb carcasses. *Meat Science* 67, 269-274.
- Hopkins, D.L., Gardner, G.E., Toohey, E.S., 2015. Australian view on lamb carcass and meat quality – the role of measurement technologies in the role of measurement technologies

- in the Australian sheep industry. In: Farm Animal Imaging. Edinburgh 2015. Ed. C. Maltin, C. Craigie and L. Bünger, pp. 17–21.
- Horgan, G.W., Murphy, S. V, Simm, G., 1995. Automatic assessment of sheep carcasses by image analysis. *Animal Science* 60, 197–202.
- Johansen, J., Aastveit, A.H., Egelandsdal, B., Kvaal, K., Roe, M., 2006. Validation of the EUROP system for lamb classification in Norway; repeatability and accuracy of visual assessment and prediction of lamb carcass composition. *Meat Science* 74, 497-509.
- Kempster, A.J., Cuthbertson, A., & Harrington, G. 1982. Carcass evaluation in livestock breeding, production and marketing. London, UK: Granada
- Khojastehkey, M., Aslaminejad, A.A., Shariati, M.M., Dianat, R., 2016. Body size estimation of new born lambs using image processing and its effect on the genetic gain of a simulated population. *Journal of Applied Animal Research* 44, 326-330.
- Kmethacek, J., Sakowsk, T., Huba, J., Peskovicova, D., Chrenek, J., Polák, P., 2000. Application of Video Image Analysis in the slaughter value estimation of live Simmental bulls (short communication). *Archiv für Tierzucht* 43, 411–416.
- Lambe, N.R., Navajas, E.A., Buenger, L., Fisher, A.V., Roehe, R., Simm, G., 2009a. Prediction of lamb carcass composition and meat quality using combinations of *post-mortem* measurements. *Meat Science* 81, 711-719.
- Lambe, N.R., Navajas, E.A., Fisher, A.V., Simm, G., Roehe, R., Buenger, L., 2009b. Prediction of lamb meat eating quality in two divergent breeds using various live animal and carcass measurements. *Meat Science* 83, 366-375.
- Madsen, N., 2004. BCC-2 approved according to EU rules.
- Masri, A. Y., Lambe, N. R., Macfarlane, J. M., Brotherstone, S., Haresign, W., & Bünger, L. 2011. Evaluating the effects of the c.* 1232G> A mutation and TM-QTL in Texel× Welsh Mountain lambs using ultrasound and video image analyses. *Small Ruminant Research* 2, 9-109.
- Mendizabal, J.A., Legarra, A., Purroy, A., 2000. Relación entre la nota de conformación y dife-

rentes medidas morfológicas realizadas mediante análisis de imagen en canales bovinas de diferentes conformaciones. ITEA 765-767

Monteiro, A., Teixeira, A., Azevedo, J., Silva, S.R. 2012. Determination of carcass composition of goats by video image analysis. IV International workshop on Computer Image Analysis in Agriculture, 1-6.

Nicolas, C., Lebert, A., n.d. Machine de classement des carcasses de gros bovins suivant la grille EUROP.

Normand, J., Ferrand, M., 2015. Evaluation de la conformation, de l'état d'engraissement et du pourcentage de muscle des carcasses d'agneau par analyse d'image: les performances de la machine à classer ovine dans le contexte des abattoirs français. Rencontre des Recherches sur les Ruminants 22, 371–374.

Ngo, L., Ho, H., Hunter, P., Quinn, K., Thomson, A., Pearson, G., 2016. *Post-mortem* prediction of primal and selected retail cut weights of New Zealand lamb from carcass and animal characteristics. Meat Science 112, 39-45.

O'Sullivan, M.G., Byrne, D.V., Martens, H., Gidskehaug, L.H., Andersen, H.J., Martens, M., 2003. Evaluation of pork colour: prediction of visual sensory quality of meat from instrumental and computer vision methods of colour analysis. Meat Science 65, 909-918.

Oliver, A., Mendizabal, J.A., Ripoll, G., Alberti, P., Purroy, A., 2010. Predicting meat yields and commercial meat cuts from carcasses of young bulls of Spanish breeds by the SEUROP method and an image analysis system. Meat Science 84, 628-633.

Pabiou, T., Fikse, W.F., Cromie, A.R., Keane, M.G., Nasholm, A., Berry, D.P., 2011. Use of digital images to predict carcass cut yields in cattle. Livestock Science 137, 130-140.

Pethick, D.W., Thompson, J., Polkinghorne, R., Bonny, S., Tarr, G., Treford, P., Duncan, S., Frette, F., Wierzbicki, J., Crowley, M., Gardner, G., Allen, P., Nishimura, T., McGilchrist, P., Farmer, L., Meng, Q., Scollan, N., Duhem, K., Hocquette, J.-F., 2015. Beef and Lamb carcass grading to underpin consumer satisfaction. Viandes & Produits Carnés 1–17.

Prevolnik, M., Škorjanc, D., Čandek-Potokar, M., and Novič, M., 2011. Application of artificial neural networks in meat production and technology. n: Artificial Neural Networks - Indus-

trial and Control Engineering Applications. Ed., Suzuki, P. K. 11, 223-240.

Price, M.A., 1995. Development of carcass grading and classification systems. Future directions in carcass assessment. In: Quality Grading of Carcasses of Meat Animals. Ed. Jones, S.D.M. CRC Press, Boca Raton, pp. 173–199.

Polkinghorne, R.J., Thompson, J.M., 2010. Meat standards and grading: a world view. *Meat Science* 86, 227–35.

Rius-Vilarrasa, E., Buenger, L., Brotherstone, S., Macfarlane, J.M., Lambe, N.R., Matthews, K.R., Haresign, W., Roehe, R., 2010. Genetic parameters for carcass dimensional measurements from Video Image Analysis and their association with conformation and fat class scores. *Livestock Science* 128, 92-100.

Rius-Vilarrasa, E., Buenger, L., Maltin, C., Matthews, K.R., Roehe, R., 2009. Evaluation of video image analysis (VIA) technology to predict meat yield of sheep carcasses on-line under UK abattoir conditions. *Meat Science* 82, 94-100.

Ross, D.W., Craigie, C.R., Lambe, N., Hyslop, J.J., Navajas, E.A., Prieto, N., Richardson, I., Bünger, L., Duthie, C.A., Maltin, C.A., Roehe, R., 2013. Overview of the technical characteristics of systems predicting carcass, meat eating and nutritional quality of meat. In *Farm animal imaging UK 2013*, Ed. C. Maltin, C. Craige and L. Bunger, pp 29-32.

Sakowski, T., Soniewski, K., Reklewski, Z., 2002. Using digital image analysis and ultrasound measurements for a pre-slaughter evaluation of carcass qualitative traits in cattle. *Animal Science* 20, 111–123.

Silva, S.R., Guedes, C.M., Cadavez, V.P., Azevedo, J.M.T., 2007. Avaliação de carcaças por análise de imagens vídeo. In: *Carcaça e carne de borrego e cabrito: avaliação da qualidade e da composição*. Ed. UTAD. 8, 211-231.

Silva, S.R., Jorge, A., Alves, V., Forte, F., Guedes, C.M., Santos, V.A., Almeida, J., Teixeira, A. 2013. Predicting commercial meat cuts yields in small size Barrosã cattle breed from video image analysis. In: *Farm animal imaging Hungary 2013*. Ed. C. Maltin, C. Craige and L. Bunger, 39.

Sørensen, M. T., 1984. Computerized tomography of goats during pregnancy and lactation. In:

- In vivo* Measurement of Body Composition in Meat Animals. Ed. D. Lister, Elsevier Applied Science, 75-83
- Stanford, K., Jones, S.D.M., Price, M.A., 1998a. Methods of predicting lamb carcass composition: A review. *Small Ruminant Research* 29, 241-254.
- Stanford, K., Richmond, R.J., Jones, S.D.M., Robertson, W.M., Price, M.A., Gordon, A.J., 1998b. Video image analysis for on-line classification of lamb carcasses. *Animal Science* 67, 311-316.
- Steiner, R., Wyle, A.M., Vote, D.J., Belk, K.E., Scanga, J.A., Wise, J.W., Tatum, J.D., Smith, G.C., 2003. Real-time augmentation of USDA yield grade application to beef carcasses using video image analysis. *Journal of Animal Science* 81, 2239–2246.
- Thornton, P.K., 2010. Livestock production: recent trends, future prospects. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 365, 2853-2867.
- Woerner, D., Belk, K.E., 2008. The history of instrument assessment of beef: A focus on the last ten years. Colorado State University, Colorado State University, 1–20.

Uso da análise de imagem vídeo para avaliar a composição da carcaça e o rendimento de peças de cordeiros leves

Resumo- Normalmente, os sistemas de classificação de carcaças são subjetivos e revelam falta de alinhamento entre a classificação, composição da carcaça e as suas características de rendimento. Isso limita sua utilidade num sistema de marketing baseado no valor da carcaça. A utilização de métodos não-invasivos e não-destrutivos *in vivo* e *post mortem* com base em imagem permitem ultrapassar esta limitação. O objetivo deste estudo é a utilização de uma técnica de análise de imagem vídeo (*do inglês vídeo image analysis- VIA*) simples para estimar a composição da carcaça e peças da carcaça de cordeiros leves. Neste trabalho foram utilizados trinta cordeiros da raça autóctone Churra Galega Mirandesa. As imagens foram capturadas usando uma câmara digital (Nikon D3100) com sensor de 8 megapixels. Foram registadas medições de área (A), perímetro (P), comprimento (L), largura (W) e ângulo (Ang). Foram realizadas análises de regressão passo a passo para estimar a composição da carcaça em tecidos e peças para ambos pesos e rendimentos usando as medições VIA e o peso de carcaça fria (PCF) como variáveis independentes. Os resultados mostram que as peças que representaram maior proporção na carcaça foram a perna e a pá (representando cerca de 55%). As carcaças apresentaram pequena proporção de gordura (11% do peso de carcaça) enquanto o músculo representou quase 63% do peso de carcaça. Os modelos de regressão explicaram 97% e 96% do peso de perna e pá, respetivamente, e incluíram o PCF e as medidas VIA. O melhor modelo incluiu o PCF e uma medição VIA e explica cerca de 98% da variação do peso do músculo. Os modelos desenvolvidos para estimar o rendimento dos tecidos na carcaça utilizando o PCF e medições VIA têm precisão moderada, com valores de R^2 variando entre 0,472 a 0,731 ($P < 0,01$). Os resultados do presente estudo sustentam as conclusões de outros trabalhos sobre a capacidade do sistema VIA em estimar os cortes primários e a composição da carcaça em tecidos de cordeiros leves.

Batista, A.C.S., Teixeira, A., Santos, V., Azevedo, J., Guedes, C., Silva, S. 2016. Use of a video image analysis method to assess composition and cut yields in light lamb carcasses. In: Raças Autóctones no Espaço Ibérico: um recurso sustentável. Ed. A.A. Marta-Costa, M.L. Tibério, R.P.Carreira. UTAD pp. 92-99.

5.1. Introdução

Atualmente, há um crescente interesse na obtenção de informações sobre a classificação e qualidade das principais espécies de animais de fazenda. Para ovinos, a União Europeia possui dois sistemas de classificação diferentes. Um, para carcaças com mais de 13 kg, com uma pontuação de cinco pontos para a conformação (EUROP; E= excelente e P= má conformação) e uma pontuação de cinco pontos para gordura (1= pouca gordura e 5= gordura excessiva). O outro sistema corresponde a uma pontuação diferente para carcaças mais leves, inferiores a 13 kg, com base na cor da carne, classe de gordura e peso de carcaça (com três categorias <7,0; 7,1-10,0 e 10,1-13,0 kg) (Russo *et al.*, 2003; Sañudo *et al.*, 2000). Estes sistemas tradicionais de classificação são subjetivos e não trazem um alinhamento entre a classificação e composição da carcaça e ou seu rendimento (Johansen *et al.*, 2006; Craigie *et al.*, 2012). Esta desvantagem limita a utilização dos sistemas de classificação para um pagamento justo baseado no valor real da carcaça (Bunger *et al.*, 2015).

Para resolver estas limitações, métodos objetivos, não-invasivos e não-destrutivos de análise de imagem *in vivo* e *post mortem* foram desenvolvidos (Scholz *et al.*, 2015; Craigie *et al.*, 2015). Atualmente, a análise de imagem vídeo (*video image analysis* - VIA), é um dos métodos selecionados. De facto, nas últimas décadas intensas investigações utilizando o VIA tem sido realizadas em bovinos (Craigie *et al.*, 2012) e ovinos (Stanford *et al.*, 1998; Hopkins *et al.*, 2004; Brady *et al.*, 2003; Ngo *et al.*, 2016; Einarsson *et al.*, 2014). Estes trabalhos destacam que o VIA reúne vários atributos como objetividade e precisão na avaliação de carcaças, além de ser um método não-invasivo e não-destrutivo (Craigie *et al.*, 2012). Além disso, os sistemas VIA oferecem uma fonte rápida e consistente de informações para programas de melhoramento genético (Rius-Vilarrasa *et al.*, 2010). No entanto, a aplicação de um sistema VIA é, muitas vezes, dificultada pelo elevado custo dos equipamentos, espaço limitado em matadouros (Craigie *et al.*, 2012) e a variabilidade entre as carcaças (Oliver *et al.*, 2010). Os sistemas VIA normalmente usam numerosas medidas tomadas na carcaça como preditores de composição da carcaça. O número de medições varia amplamente. Por exemplo, Ngo *et al.* (2016) fez uso de 23 medições VIA enquanto Einarsson *et al.* (2014) usando o sistema VIAscan® utilizaram cerca de 110 medições VIA. Os primeiros trabalhos com carcaças de borrego mostraram que o VIA pode ser utilizado para estimar a sua composição, porém os modelos de estimativa não eram suficientemente robustos para ser aplicado a outro tipo de carcaças de cordeiros (Hopkins *et al.*, 2004). Esta é uma das razões para aplicar a técnica VIA.

Em nosso conhecimento, este trabalho representa a primeira utilização desta técnica para carcaças de cordeiros leves. Portanto, o objetivo deste estudo é a utilização de uma técnica VIA simples para estimar a composição da carcaça e peças de borregos leves.

5.2. Material e métodos

5.2.1 Animais e carcaça

Trinta borregos, da raça nativa Portuguesa Churra Galega Mirandesa produzidos de acordo com as especificações do Cordeiro Mirandês, foram utilizados neste trabalho. Estes animais tinham em média $13,5 \pm 2,6$ kg de peso vivo e foram abatidos num matadouro oficial, em conformidade com os regulamentos nacional e Europeu. Após o abate, as carcaças foram refrigeradas a 4 °C durante 24 h e o peso de carcaça fria (PCF) foi registrado. As carcaças foram divididas pela linha dorsal com uma serra de fita e o lado esquerdo exterior foi utilizado para a aquisição das imagens e determinação da composição da carcaça. O grupo experimental teve um PCF de $6,3 \pm 1,3$ kg e rendimento de carcaça de $46,6 \pm 3,2\%$.

5.2.2 Aquisição das imagens e medições VIA

Para aquisição das imagens da carcaça, o lado exterior esquerdo foi pendurado contra um fundo preto opaco, tendo sido tomado cuidado para imobilizar as carcaças antes da captura da imagem. As imagens foram capturadas usando uma câmara digital (Nikon D3100) com um sensor de 8 megapixels. A câmara foi predefinida da seguinte maneira: com modo manual de operação, velocidade do obturador de 1/60s, F/4.5, ISO de velocidade 400, sem flash e com distância focal de 26mm. As imagens capturadas foram salvas no formato JPEG. Todo o procedimento foi desenvolvido com luz artificial padrão, mantendo a posição da câmara constante. A câmara foi colocada a 3 m das carcaças. Para a medida da escala, dois pontos vermelhos foram projetados na carcaça, emitidos por dois lasers paralelos (650 nm de comprimento de onda) montado em uma estrutura com distância predeterminada.

No presente trabalho, 30 medições VIA foram estimadas, incluindo cinco áreas; quatro perímetros; quatro eixos maiores e quatro eixos menores; três ângulos; quatro comprimentos e seis larguras em diferentes regiões da carcaça. De modo geral, as medidas tomadas pelos sistemas VIA incluem áreas, comprimentos e larguras (Rius-Vilarrasa *et al.*, 2010; Hopkins *et*

al., 2004; Ngo *et al.*, 2016) mas, também podem incluir ângulos e medidas de cor (Hopkins *et al.*, 2004; Einarsson *et al.*, 2014). A partir dessas imagens 30 medições foram obtidas por um processo de análise de imagem realizada com o software ImageJ (ImageJ 1.42q, <http://imagej.nih.gov/ij/>). As medições da área (A), perímetro (P), comprimento (L), largura (W) e ângulo (Ang) foram registados (Figura 5.1). Além disso, a partir da estimativa de área, obteve-se o maior eixo e o menor eixo automaticamente. Todas as medições foram definidas como proposto por Oliver *et al.*, 2010, Rius-Vilarrasa *et al.*, 2010 e Ngo *et al.*, 2016.

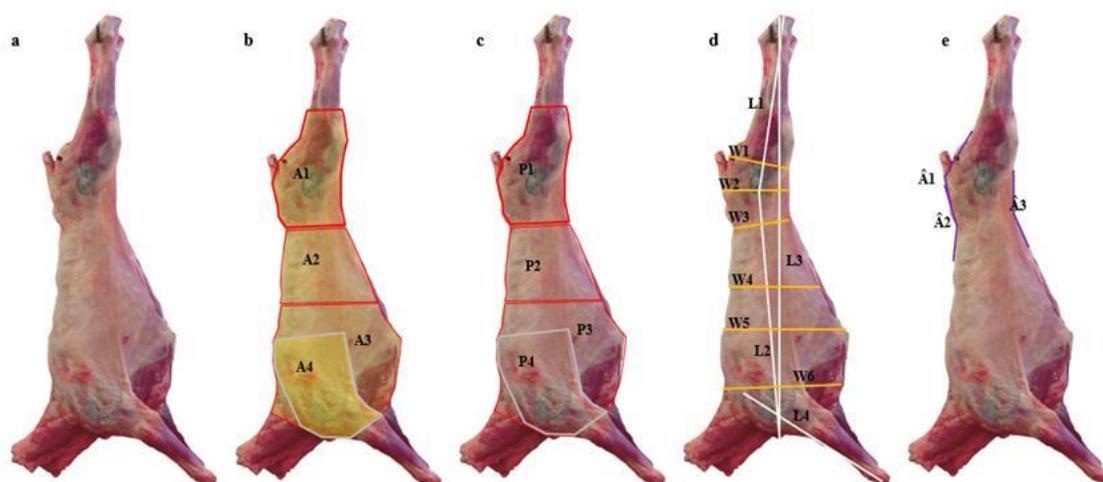


Figura 5.1- Vista do lado exterior da carcaça de borregos leves da raça Churra Galega Mirandesa (a) que descreve as variáveis usadas para coletar as medidas de áreas (b); perímetros (c); comprimentos e larguras (d) e ângulos (e). A1= Área da perna; A2= área de lombo; A3= Área do quarto dianteiro; A4= área da pá; P1= perímetro da perna; P2= perímetro do lombo; P3= perímetro do quarto dianteiro; P4= perímetro da pá; L1= comprimento da perna; L2= comprimento toracolombar; L3= Comprimento entre o osso fibular do tarso e o úmero; L4= comprimento do antebraço; W1= menor largura da perna; W2= maior largura da perna; W3= largura mínima da sela; W4= largura mínima do tórax; W5= largura máxima do tórax; W6= maior largura da aba das costelas; Â1= ângulo da perna 1; Â2= ângulo da perna 2; Â3= ângulo da perna 3.

5.2.3 Composição carcaça e das peças

As meias carcaças foram divididas em seis peças: perna, lombo, costeleta, aba das costelas, pá e pescoço, como descrito por Santos *et al.* (2008). Seguida a pesagem, cada peça foi colocada num saco plástico, identificadas e congeladas para posterior dissecação. Após o descongelamento, as peças da carcaça foram pesadas e separadas em músculo (M), gordura subcutânea (GS), gordura intermuscular (GI) e osso. A gordura da carcaça (GC) foi estimada a partir da soma da gordura subcutânea e intermuscular. A dissecação das peças seguiu a metodologia proposta por Fisher e DeBoer *et al.* (1994), em uma sala de ambiente controlado.

Após a dissecação, o músculo e o resto (vasos sanguíneos, ligamentos, tendões e tecido conjuntivo associados com alguns músculos) foram pesados separadamente. O rendimento das peças e tecidos carcaça foram determinados em função do PCF.

5.2.4 Análise estatística

Foi realizada uma estatística descritiva para a determinação da média, desvio padrão, amplitude e coeficiente de variação (CV) para o peso e rendimento das peças, a composição da carcaça nos tecidos e para todas as medições VIA. Foram utilizadas análises de regressão passo a passo (*Stepwise*) para estimar a composição da carcaça em tecidos e cortes na carcaça, tanto para os diferentes pesos e rendimentos, usando medições VIA e o PCF, como para as variáveis independentes. A precisão das estimativas foi com base no coeficiente de determinação (R^2) e no desvio padrão residual (DPR) (MacNeil *et al.*, 1983). Todas as análises estatísticas foram realizadas com o software JMP (versão 7; SAS Institute, Cary, NC, EUA).

5.3. Resultados e discussão

O Quadro 5.1 resume a estatística básica (média, desvio padrão, amplitude e coeficiente de variação) para o peso e rendimento das peças e composição da carcaça. As peças e composição da carcaça obtidas no presente estudo concordaram com as especificações de cordeiros leves na região Norte de Portugal (Santos *et al.*, 2007; Teixeira *et al.*, 2004), bem como em outros países do sul da Europa (Miguel *et al.*, 2006; Diaz *et al.*, 2006; Santos *et al.*, 2008).

Quadro 5.1 - Média, desvio padrão (dp), amplitude e coeficiente de variação (CV) do peso e rendimento das peças e composição dos tecidos na carcaça.

	Peso (kg)			Rendimento (%)		
	Média±dp	Amplitude	CV%	Média±dp	Amplitude	CV%
Peças						
Perna	2,18±0,49	1,13-3,44	22,5	34,6±1,50	31,7-39,1	4,3
Lombo	1,09±0,25	0,58-1,56	22,8	17,3±1,77	13,3-21,3	10,2
Costeleta	0,33±0,08	0,21-0,44	23,5	5,23±0,88	3,99-6,91	16,9
Aba das costelas	0,64±0,16	0,36-1,02	25,2	10,2±1,57	7,76-13,5	15,5
Pá	1,29±0,28	0,53-1,84	21,7	20,5±1,23	16,3-21,9	6,0
Pescoço	0,60±0,15	0,28-0,91	24,5	9,60±1,67	7,15-14,1	17,4
Tecidos						
Músculo (M)	3,95±0,82	2,05-5,50	20,8	62,7±1,98	58,1-65,7	3,15
Gordura subcutânea (GS)	0,36±0,17	0,11-0,78	47,7	5,44±1,80	2,75-9,49	33,0
Gordura intermuscular (GI)	0,41±0,16	0,15-0,74	39,3	6,31±1,82	3,61-9,49	28,9
Gordura carcaça (GC)	0,76±0,32	0,26-1,52	42,1	11,7±3,43	6,49-18,5	29,2
Osso	1,55±0,26	0,95-1,95	16,6	24,8±2,67	20,6-31,5	10,8

O rendimento das peças depende, em grande parte, do tipo de preparação que é feita nas carcaças. Em geral, as peças que tem uma proporção mais elevada nas carcaças de borregos leves são a perna (34,6%) e a pá (20,5%), que no presente trabalho representa cerca de 55% (Quadro 5.1). Em geral, as carcaças de borregos leves apresentam pequenas quantidades de gordura (11,7%), especialmente de gordura subcutânea (5,4%), e o músculo representa quase 63% do peso da carcaça. Estes resultados estão em conformidade com o crescimento dos tecidos em mamíferos, o que mostra que o crescimento de gordura ocorre mais tarde, com a maturidade (Santos *et al.*, 2008). Em geral, a gordura subcutânea é o componente da dissecação que aumenta com o maior peso carcaça (Díaz *et al.*, 2005; Santos *et al.*, 2007). Estes trabalhos relatam uma pequena proporção de gordura em carcaças de borregos leves. Apesar do padrão de deposição e quantidade reduzida de gordura na carcaça, sua variação foi significativa (CV entre 42 e 48% e 29 e 33% para o peso e o rendimento respectivamente). Estes resultados estão de acordo com os de Díaz *et al.* (2005) e Santos *et al.* (2007). A média, desvio padrão, amplitude e coeficiente de variação das medições VIA são apresentados no Quadro 5.2.

Quadro 5.2 - Médias, desvios padrão (dp), amplitude e coeficiente de variação (CV) das medições da VIA.

Medidas	Variáveis	Média±dp	Amplitude	CV%
Área (cm²)				
Carcaça	AC	863,5±145,20	601,1-133,20	16,80
Perna	A1	152,4±24,60	92,1-213,70	16,10
Lombo	A2	235,2±57,10	127,9-334,60	24,30
Dianteiro	A3	320,7±67,10	192,8-460,10	20,90
Pá	A4	155,3±22,30	113,0-200,20	14,40
Perímetro (cm)				
Perna	P1	56,7±4,70	48,5-66,90	8,20
Lombo	P2	67,2±9,30	48,9-82,60	13,80
Dianteiro	P3	71,4±7,30	58,8-86,30	10,20
Pá	P4	51,3±3,90	43,8-59,70	7,70
Eixo maior (cm)				
Perna	MA1	22,2±2,40	17,1-27,20	10,90
Lombo	MA2	24,8±3,90	17,6-31,80	15,80
Dianteiro	MA3	24,8±2,60	20,9-29,80	10,60
Pá	MA4	18,9±1,50	16,2-22,20	8,10
Eixo menor (cm)				
Perna	MinA1	10,6±0,90	8,5-12,20	8,10
Lombo	MinA2	13,6±1,60	10,6-16,60	11,60
Dianteiro	MinA3	18,2±2,60	12,0-22,40	14,10
Pá	MinA4	11,8±1,20	9,7-14,80	10,10
Ângulo (θ)				
Ângulo da perna 1	Â1	144,6±6,30	129,6-155,50	4,40
Ângulo da perna 2	Â2	150,8±9,00	128,7-167,30	6,00
Ângulo da perna 3	Â3	164,0±7,30	144,8-174,50	4,50

(Continua)

Quadro 5.2 - Continuação.

Medidas	Variáveis	Média±dp	Amplitude	CV%
Comprimento (cm)				
Comprimento da perna	L1	28,1±1,90	24.1-31,20	6,90
Comprimento toracolombar	L2	54,2±4,90	42.8-63,90	9,10
Comprimento entre o osso fibular do tarso e o úmero	L3	86,0±6,40	72.0-97,90	7,40
Comprimento da pá	L4	31,2±2,50	24.5-35,70	8,10
Largura (cm)				
Menor largura da perna	W1	11,5±1,10	9.5-15,00	9,90
Maior largura da perna	W2	10,3±1,30	7.8-13,70	12,20
Largura mínima da sela	W3	10,6±1,30	7.5-12,70	12,00
Largura mínima do tórax	W4	14,8±1,60	12.3-18,50	10,70
Largura máxima do tórax	W5	20,5±1,80	17.5-23,30	8,70
Maior largura da aba das costelas	W6	18,7±1,60	15.6-21,70	8,80

Em geral, as medições de área mostraram maior variação (CV entre 14,4 e 24,3%) e os ângulos mostram menor variação (CV entre 4,4 e 6,0%). As outras medições VIA apresentaram um CV que variou entre 6,9 e 15,8% (Quadro 5.2). Este padrão de variação também foi reportado por outros autores utilizando sistemas VIA. Rius-Vilarrasa *et al.* (2010) por exemplo, utilizando carcaças de borregos mais pesados (18,8 kg; CV = 12,9%), relataram CV entre 7,6 e 9,2% para a medição da área e variações entre 3,2 e 7,3% para o comprimento e largura.

Os Quadros 5.3 e 5.4 referem-se às regressões passo a passo para estimar o peso e o rendimento das peças e composição da carcaça em tecidos (variáveis y) com base no PCF e as trinta medições VIA (variáveis x). Os modelos de regressão com base nas medições VIA e PCF confirmam que é possível estimar com precisão o peso das peças (R^2 entre 0,676 e 0,970, $P < 0,01$). Os melhores modelos explicam 97% e 96% do peso da perna (PCF + A1 + W4) e da pá (PCF + W2), respectivamente (Quadro 5.3). Esta é a principal conclusão, porque a perna e a pá são peças primárias que representam 55% do peso da carcaça. Resultados semelhantes também foram relatados por Rius-Vilarrasa *et al.* (2009), que encontraram maior precisão quando o sistema VIA foi usado nas equações de estimativa das peças primárias. Relativamente aos modelos de estimativa de rendimento das peças, foram encontradas precisões de pobres a moderadas (R^2 entre 0,139 e 0,696, $P < 0,01$) (Quadro 5.3). Stanford *et al.* (1998) também apresentaram algumas limitações na estimativa de proporção do lombo, mas não da perna ($R^2 =$

0,71, DPR= 0,66%) e ombro ($R^2= 0,62$, DPR= 0,88%). Os resultados de Brady *et al.* (2003) também corroboram com esses resultados. Eles relataram uma precisão moderada ($R^2= 0,561$) na estimativa de rendimento de peças primárias, utilizando um sistema VIA chamado *Lamb Vision System*. Estes resultados contrastam, no entanto, com o trabalho realizado por Oliver *et al.* (2010), com bovinos, que encontraram boa estimativa na previsão de rendimento das peças de carne comerciais ($R^2= 0,79$, 0,94, 0,84 e 0,90, respectivamente, para as peças extra, primeira, segunda e terceira categoria).

Quadro 5.3. Coeficiente de determinação (R^2) e desvio padrão residual (DPR) para cada modelo de estimativa do peso e rendimento da perna, lombo, costeleta, aba das costelas, pá e pescoço por PCF e medições VIA.

Variável y	Intercepto		Coeficiente (variável x)			R^2	DPR	
Peso (kg)								
Perna	1,342	0,400 (PCF)	-0,008 (Â1)	-0,032 (W4)		0,970	0,085	
Lombo	-1,363	0,160 (PCF)	0,010 (Â1)			0,823	0,105	
Costela	-0,195	0,046 (PCF)	-0,007 (MA2)	-0,001 (A4)	0,033 (MA4)	0,696	0,042	
Aba das costelas	0,155	0,001 (AC)	0,022 (MA1)	-0,005 (Â1)		0,792	0,073	
Pá	0,187	0,237 (PCF)	-0,037 (W2)			0,955	0,059	
Pescoço	-0,515	-0,022 (MinA3)	0,028 (L2)			0,676	0,085	
Rendimento (%)								
Perna	41,554	-0,089 (Â1)	0,511 (W1)			0,237	1,313	
Lombo	-8,302	0,109 (Â1)	0,065 (Â2)			0,274	1,504	
Costela	6,99	-0,041 (P2)	0,48 (W5)			0,150	0,815	
Aba das costelas	19,069	0,402 (MA1)	-0,117 (P2)	-0,066 (Â2)		0,573	1,028	
Pá	15,251	0,132 (P4)	-0,075 (W5)			0,139	1,182	
Pescoço	26,862	-0,997 (MinA1)	0,023 (A3)	-0,789 (MinA3)	0,028 (A4)	0,22 (L2)	0,696	0,920

PCF= Peso de carcaça fria; A1= ângulo da perna1; W4=largura máxima da cintura; MA2= eixo maior do lombo; A4= área da pá; MA4=eixo maior da pá; AC= área da carcaça; MA1= eixo maior da perna; W2= maior largura da perna; MinA3- eixo menor do quarto dianteiro; L2= comprimento toracolombar; W1= largura menor da perna; Â2= ângulo da perna 2; P1= perímetro da perna; W5= largura máxima do tórax; P2= perímetro do lombo; P4= perímetro da pá; MinA1= eixo menor da perna; A3=área do quarto dianteiro.

Para os pesos dos tecidos na carcaça, os modelos apresentados neste trabalho mostraram uma precisão de moderada a alta para explicar a variação dos tecidos musculares e adiposos (R^2 entre 0,626 e 0,978, $P<0,01$). O melhor modelo incluiu o PCF e uma medição VIA (W2) e explica cerca de 98% da variação do músculo (Quadro 5.4). Os modelos de estimativa desenvolvidos para estimar os rendimentos de carcaça em tecidos, utilizando o PCF e medições VIA têm precisão moderada, com R^2 variando entre 0,472 e 0,731 ($P<0,01$). Os valores obtidos

no presente trabalho são comparáveis com outros relatórios. Por exemplo, Brady *et al.* (2003) e Cunha *et al.* (2004), usando medições VIA e o peso de carcaça de cordeiro como preditores para o rendimento de carcaça e tecidos, atingiram valores de R^2 de até 0,71 (DPR= 2,6%) e 0,74 (DPR= 2,05%), respetivamente. Em outro estudo, o rendimento de carne magra, que é próximo do rendimento muscular, também foi moderadamente estimado ($R^2= 0,52$ e DPR= 2,17%), utilizando medidas de carcaça obtidas pelo sistema VIAScan (Hopkins *et al.*, 2004). Estes autores também afirmam que uma amostra mais ampla de genótipos e a utilização de medidas adicionais, tais como a área de secção transversal do músculo *longissimus thoracis et lumborum*, seria útil para melhorar a precisão de estimativa dos modelos. Esta orientação também deve ser levada em consideração para as carcaças leves porque geralmente os matadouros recebem animais de diferentes genótipos.

Quadro 5.4. Coeficiente de determinação (R^2) e desvio padrão residual (DPR) para cada modelo de estimativa do músculo, gordura subcutânea, gordura intermuscular e gordura na carcaça (peso e rendimento) pelo PCF e medições VIA.

Variável y	Intercepto	Coeficiente (variável x)				R^2	DPR	
Peso (kg)								
Músculo	0,45	0,607 (PCF)	-0,06 (W2)			0,978	0,110	
GS	-1,20	-0,034 (MinA2)	0,039 (W2)	0,018 (L3)		0,727	0,083	
GI	-0,875	0,001 (AC)	0,004 (Â2)			0,626	0,091	
Gordura da carcaça	-1,69	0,002 (AC)	0,006 (Â2)			0,663	0,173	
Rendimento (%)								
Músculo	2,707	0,181 (MA2)	-0,473 (MinA4)	0,204 (W4)		0,551	0,647	
GS	-18,20	-0,296 (P3)	0,961 (MA1)	0,048 (Â2)	0,668 (W2)	0,154 (L3)	0,731	0,869
GI	-2,42	-0,4 (MinA2)	-0,372 (P3)	1,174 (MA3)	0,752 (W4)		0,716	0,906
Gordura da carcaça	-14,23	0,697 (MA3)	0,529 (W4)			0,472	2,329	

GS=gordura subcutânea; GI= gordura intermuscular; PCF= peso de carcaça fria; W2= largura maior da perna; MinA2= eixo menor do lombo; L3= Comprimento entre o osso fibular do tarso e o úmero; AC= área da carcaça; Â2= ângulo da perna 2; MA2= eixo maior do lombo; MinA4= eixo menor da pá; W4= largura máxima do tórax; P3= perímetro do quarto dianteiro; MA1= eixo maior da perna; MA3= eixo maior do quarto dianteiro.

5.4. Conclusão

Os resultados deste estudo sustentam os resultados obtidos em outros relatórios sobre a capacidade do sistema VIA em estimar as peças primárias e a composição da carcaça em tecidos de borregos leves. Portanto, tecnologias objetivas, rápidas, não-invasivas e não-destrutivas, como o VIA podem oferecer uma oportunidade notável para gravar informações precisas das

carcaças de borregos leves que podem apoiar toda a cadeia do matadouro para o produtor e o valor acrescentado ao consumidor para este tipo de carcaças.

5.5. Referências

- Brady, A.S., Belk, K.E., LeValley, S.B., Dalsted, N.L., Scanga, J.A., Tatum, J.D., Smith, G.C., 2003. An evaluation of the lamb vision system as a predictor of lamb carcass red meat yield percentage. *Journal of Animal Science* 81, 1488-1498.
- Bunger, L., Menezes, A.M., McLean, K.A., Gordon, J., Yates, J., Moore, K., Lambe, N.R., 2015. Selecting terminal sire breed rams for lean meat percentage – effects on their crossbred lambs. In: *Farm Animal Imaging*, Ed. C. Maltin, C. Craigie and L. Bunger. Edinburgh, 2015, 56-61.
- Craigie, C.R., Navajas, E.A., Purchas, R.W., Maltin, C.A., Buenger, L., Hoskin, S.O., Ross, D.W., Morris, S.T., Roehe, R., 2012. A review of the development and use of video image analysis (VIA) for beef carcass evaluation as an alternative to the current EUROP system and other subjective systems. *Meat Science* 92, 307-318.
- Craigie, C.R., Fowler, S., Knight, M., Stuart, A., Hopkins, D., Reis, M.M., 2015. Spectral imaging techniques for predicting meat quality – an Australasian perspective. In: *Farm Animal Imaging*. Edinburgh, 2015, 75-79.
- Cunha, B.C.N., Belk, K.E., Scanga, J.A., LeValley, S.B., Tatum, J.D., Smith, G.C., 2004. Development and validation of equations utilizing lamb vision system output to predict lamb carcass fabrication yields. *Journal of Animal Science* 82, 2069-2076.
- Diaz, M.T., de la Fuente, J., Lauzurica, S., Perez, C., Velasco, S., Alvarez, I., de Huidobro, F.R., Onega, E., Blazquez, B., Caneque, V., 2005. Use of carcass weight to classify Manchego sucking lambs and its relation to carcass and meat quality. *Animal Science* 80, 61-69.
- Diaz, M.T., de la Fuente, J., Perez, C., Lauzurica, S., Alvarez, I., Ruiz de Huidobro, F., Velasco, S., Caneque, V., 2006. Body composition in relation to slaughter weight and gender in suckling lambs. *Small Ruminant Research* 64, 126-132.

- Einarsson, E., Eythorsdottir, E., Smith, C.R., Jonmundsson, J.V., 2014. The ability of video image analysis to predict lean meat yield and EUROP score of lamb carcasses. *Animal* 8, 1170-1177.
- Fisher, A.V., Deboer, H., 1994. The eaap standard method of sheep carcass assessment - carcass measurements and dissection procedures report of the eaap working-group-on-carcass-evaluation, in cooperation with the ciheam instituto-agronomico-mediterraneo of zaragoza and the cec directorate-general-for-agriculture in brussels. *Livestock Production Science* 38, 149-159.
- Hopkins, D.L., Safari, E., Thompson, J.M., Smith, C.R., 2004. Video image analysis in the Australian meat industry - precision and accuracy of predicting lean meat yield in lamb carcasses. *Meat Science* 67, 269-274.
- Johansen, J., Aastveit, A.H., Egelandsdal, B., Kvaal, K., Roe, M., 2006. Validation of the EUROP system for lamb classification in Norway; repeatability and accuracy of visual assessment and prediction of lamb carcass composition. *Meat Science* 74, 497-509.
- MacNeil, M.D., 1983. Choice of a prediction equation and the use of the selected equation in subsequent experimentation. *Journal of Animal Science* 57, 1328-1336.
- Miguellez, E., Zumalacarregui, J.M., Osorio, M.T., Beteta, O., Mateo, J., 2006. Carcass characteristics of suckling lambs protected by the PGI "Lechazo de Castilla y Leon" European quality label: Effect of breed, sex and carcass weight. *Meat Science* 73, 82-89.
- Ngo, L., Ho, H., Hunter, P., Quinn, K., Thomson, A., Pearson, G., 2016. Post-mortem prediction of primal and selected retail cut weights of New Zealand lamb from carcass and animal characteristics. *Meat Science* 112, 39-45.
- Oliver, A., Mendizabal, J.A., Ripoll, G., Alberti, P., Purroy, A., 2010. Predicting meat yields and commercial meat cuts from carcasses of young bulls of Spanish breeds by the SEUROP method and an image analysis system. *Meat Science* 84, 628-633.
- Rius-Vilarrasa, E., Buenger, L., Maltin, C., Matthews, K.R., Roehe, R., 2009. Evaluation of Video Image Analysis (VIA) technology to predict meat yield of sheep carcasses on-line under UK abattoir conditions. *Meat Science* 82, 94-100.

- Rius-Vilarrasa, E., Buenger, L., Brotherstone, S., Macfarlane, J.M., Lambe, N.R., Matthews, K.R., Haresign, W., Roehe, R., 2010. Genetic parameters for carcass dimensional measurements from Video Image Analysis and their association with conformation and fat class scores. *Livestock Science* 128, 92-100.
- Russo, C., Preziuso, G., Verita, P., 2003. EU carcass classification system: carcass and meat quality in light lambs. *Meat Science* 64, 411-416.
- Santos, V.A.C., Silva, S.R., Mena, E.G., Azevedo, J.M.T., 2007. Live weight and sex effects on carcass and meat quality of "Borrego terrincho-PDO" suckling lambs. *Meat Science* 77, 654-661.
- Santos, V.A.C., Silva, S.R., Azevedo, J.M.T., 2008. Carcass composition and meat quality of equally mature kids and lambs. *Journal of Animal Science* 86, 1943-1950.
- Sanudo, C., Alfonso, M., Sanchez, A., Delfa, R., Teixeira, A., 2000. Carcass and meat quality in light lambs from different fat classes in the EU carcass classification system. *Meat Science* 56, 89-94.
- Scholz, A.M., Buenger, L., Kongsro, J., Baulain, U., Mitchell, A.D., 2015. Non-invasive methods for the determination of body and carcass composition in livestock: dual-energy X-ray absorptiometry, computed tomography, magnetic resonance imaging and ultrasound: invited review. *Animal* 9, 1250-1264.
- Stanford, K., Richmond, R.J., Jones, S.D.M., Robertson, W.M., Price, M.A., Gordon, A.J., 1998. Video image analysis for on-line classification of lamb carcasses. *Animal Science* 67, 311-316.
- Teixeira, A., Cadavez, V., Delfa, R., Bueno, M.S., 2004. Carcass conformation and joints composition of Churra Galega Bragançana and crossbred lambs by Suffolk and Merino Precoce sire breeds. *Span. Journal of Agricultural Research* 2:217-225.

Utilização de medidas obtidas por análise de imagem vídeo nos planos lateral e dorsal de carcaças de cordeiros leves para estimar o peso e o rendimento das peças

Resumo- Por muito tempo, a forma tradicional de estimar a composição da carcaça foi através da dissecação da meia carcaça ou da sua totalidade em músculo, gordura e osso, entretanto, este método de avaliação é um processo dispendioso, demorado e inconsistente. Técnicas como a análise de imagem vídeo (do inglês *video image analysis*- VIA), que melhorem a classificação da carcaça são de grande interesse por serem objetivas e capazes de determinar de forma precisa o conteúdo da carcaça. O objetivo com este estudo foi avaliar a precisão de um sistema VIA simples para determinar o peso e o rendimento dos grupos de peças de valor comercial de carcaças de borregos leves. Foram utilizados cinquenta e cinco borregos Churra da Terra Quente, tendo sido feitas fotos de planos da carcaça. As imagens foram capturadas usando uma câmara digital (Nikon D3100) com um sensor de 8 megapixels. A partir dessas imagens foram estimadas um total de 56 medidas VIA entre elas medições de área (A), perímetro (P), comprimento (L), largura (W) e ângulo (Ang). As meias carcaças foram divididas em seis peças, tendo sido divididas em grupos de acordo com seu valor comercial: grupo de alto valor comercial (HVC); grupo de médio valor comercial (MVC); grupo de baixo valor comercial (LVC) e um último grupo com o peso de todas as peças também foi criado (ALLCuts). Três modelos de estimativa foram utilizados: o modelo 1 correspondente ao peso da carcaça fria (do inglês *carcass cold weight*- CCW) mais as medições VIA obtidas na vista lateral da carcaça (CCW + VIA lateral); o modelo 2 ao peso da carcaça fria mais as medições VIA obtidas na vista dorsal da carcaça (CCW + VIA dorsal); e o modelo 3 ao peso da carcaça fria mais as medidas VIA da vista lateral e dorsal (CCW + VIA lateral + VIA dorsal). Foram realizadas análises de regressão passo a passo para estimar os pesos das peças nos grupos e seus rendimentos. De modo geral, os modelos usados para estimar o peso total e de cada grupo de peças de valor comercial foram semelhantes tendo sido obtido R^2 de 0,99 para o HVC e ALLCuts. Os valores relativos aos rendimentos do peso dos grupos de peças estudados foram de baixos a moderados, com R^2 entre 0,186 e 0,530, $P < 0,0001$ para os três modelos avaliados. Os modelos de estimativa usados para avaliar o peso total de carne magra dos grupos de peças comerciais foram semelhantes entre si. Os valores relativos aos rendimentos de carne magra dos grupos de peças estudados foram de baixos, com R^2 entre 0,080 e 0,461, $P < 0,0001$ para os três modelos avaliados. Os resultados deste estudo confirmam o que foi obtido em outros relatórios sobre a capacidade do sistema VIA em estimar o peso das peças e seus rendimentos. Contudo, é preciso haver mais investigação no que diz respeito a estimativa de rendimento de carne magra.

6.1. Introdução

Os estudos relacionados às análises de características e qualidade de carne e carcaça feitos nas últimas décadas foram, em sua grande maioria, realizados com métodos instrumentais tradicionais, como análises químicas e físicas (Martínez-Cerezo *et al.*, 2005). Sabemos que a forma mais utilizada para conhecer a composição da carcaça é através da dissecação completa e, durante muito tempo, a dissecação física da meia carcaça ou da sua totalidade em músculo, gordura e osso foi utilizada para determinar o rendimento da carcaça em carne magra, entretanto, este processo é dispendioso uma vez que é demorado, necessita de mão-de-obra qualificada e desvaloriza a carcaça, além de estar associado a inconsistência e a instabilidade (Craigie *et al.*, 2012; Elmasry *et al.*, 2012).

A escassez de métodos simples, não-destrutivos, rápidos e confiáveis para determinar a classificação e as características da carne nas peças da carcaça tem sido uma das barreiras para o desenvolvimento do controle de qualidade na indústria da carne (Elmasry *et al.*, 2011). Segundo Craigie *et al.* (2012), a classificação de carcaças feita de forma tradicional tem se tornado tema de controvérsia. Para ultrapassar estas dificuldades, foram realizadas várias tentativas para o desenvolvimento de metodologias rápidas, simples, objectivas e baratas, onde algumas dessas metodologias estabelecem medidas da carcaça, dos seus tecidos ou das peças (Albrecht *et al.*, 2006; Bozkurt *et al.*, 2007; Du *et al.*, 2008; Nakahashi *et al.*, 2008; Irie & Kohira, 2012).

Técnicas que façam uma seleção rápida para melhorar a classificação da carcaça ou da carne são de grande interesse por serem ferramentas objectivas de medição, com capacidade de determinar de forma precisa o conteúdo da carcaça e a exatidão dos resultados (Swan *et al.*, 2001; Elmasry *et al.*, 2012; Craigie *et al.*, 2012). Um exemplo é a análise de imagem vídeo (do inglês *video image analysis* -VIA). De acordo Craigie *et al.* (2012), o destaque no uso de análise de imagens surgiu com a finalidade de imitar a avaliação visual, porém, de uma forma não-invasiva e não-destrutiva. Ainda segundo estes autores (Craigie *et al.*, 2012), alguns dos sistemas de análise de imagens apresentam baixo custo e objectividade, podendo ser aplicado em matadouros, ajudando na estimativa do peso das peças e na estimativa de rendimento das peças e da carne magra. Com base nisto, o objetivo com este estudo foi avaliar a precisão de um sistema VIA simples para determinar o peso e o rendimento dos grupos de peças de valor comercial de carcaças de borregos leves.

6.2. Material e Métodos

6.2.1. Animais e obtenção das carcaças

Cinquenta e cinco borregos Churra da Terra Quente produzidos de acordo com as especificações do Cordeiro Mirandês foram utilizados neste trabalho. Os animais tinham em média $15,5 \pm 2,3$ kg de peso vivo quando foram abatidos num matadouro oficial, conforme o regulamento nacional e Europeu. Após o abate, as carcaças foram refrigeradas a 4 °C durante 24 h, tendo sido registrado o peso de carcaça fria (do inglês *carcass cold weight* - CCW).

6.2.2. Aquisição de imagens e medidas VIA

Foram feitas fotos de duas dimensões da carcaça. Para aquisição das imagens, o lado esquerdo de cada carcaça foi pendurado contra um fundo preto opaco tomando cuidado para imobilizar as carcaças antes da captura da imagem da vista lateral e, posteriormente, as carcaças foram reposicionadas para que fossem feitas fotos da vista dorsal.

As imagens foram capturadas usando uma câmara digital (Nikon D3100) com um sensor de 8 megapixels. A câmara foi predefinida da seguinte maneira: com modo manual de operação, velocidade do obturador de 1/60s, F/4.5, ISO de velocidade 400, sem flash e com distância focal de 26 mm. As imagens capturadas foram salvas no formato JPEG. Todo o procedimento foi desenvolvido com luz artificial padrão e mantendo a posição da câmara constante. A câmara foi colocada a uma distância de 3 m das carcaças. Para a medida da escala, dois pontos vermelhos foram projetados na carcaça, emitidos por dois lasers paralelos (650 nm de comprimento de onda) montado em uma estrutura com uma distância predeterminada.

A partir dessas imagens foram estimadas um total de 56 medidas VIA. Nas imagens da vista lateral foram identificados 21 pontos anatômicos, incluindo áreas (4), perímetros (4), ângulos (3), comprimentos (4) e larguras (6), medidos em diferentes regiões da carcaça (Figura 6.1). Para as imagens da vista dorsal, identificou-se 35 pontos anatômicos, incluindo áreas (7), perímetros (7), ângulos (3), comprimentos (12) e larguras (6), medidos em diferentes regiões da carcaça (Figura 6.2). Todas as medidas foram obtidas com o software ImageJ (ImageJ 1.42q, <http://imagej.nih.gov/ij/>), programa de análise de imagem. As medições da área (A), o perímetro (P), o comprimento (L), a largura (W) e o ângulo (Ang)

foram registados. Todas as medições foram definidas como proposto por Rius-Vilarrasa *et al.* (2010), Oliver *et al.* (2010) e Ngo *et al.* (2016).

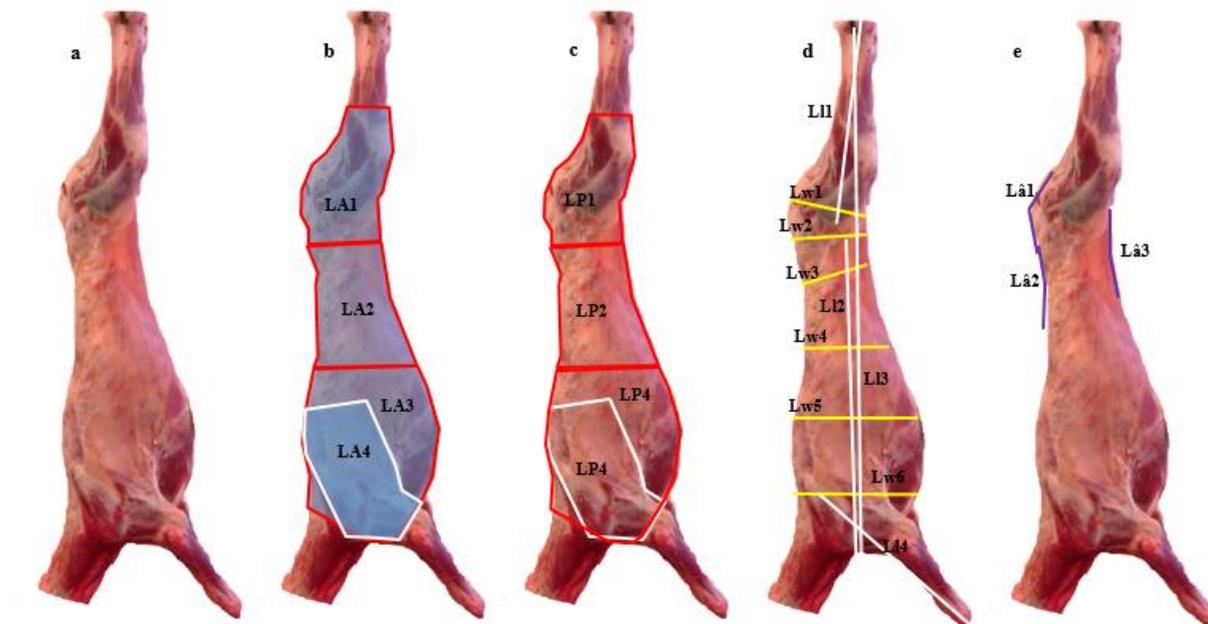


Figura 6.1- Vista do lado exterior da carcaça de borregos leves da raça Churra da Terra Quente (a) que descreve as variáveis usadas para coletar as medidas de áreas (b); perímetros (c); comprimentos e larguras (d) e ângulos (e). LA1= área da perna; LA2= área de lombo; LA3= área do quarto dianteiro; LA4= área da pá; LP1= perímetro da perna; LP2= perímetro do lombo; LP3= perímetro do quarto dianteiro; LP4= perímetro da pá; L11= comprimento da perna; L12= comprimento toracolombar; L13= comprimento entre o osso fibular do tarso e o úmero; L14= comprimento do antebraço; Lw1= menor largura da perna; Lw2= maior largura da perna; Lw3= largura mínima da sela ; Lw4= largura mínima do tórax ; Lw5= largura máxima do tórax; Lw6= maior largura da aba das costelas; Lâ1= ângulo da perna 1; Lâ2= ângulo da perna 2; Lâ3= ângulo da perna 3.

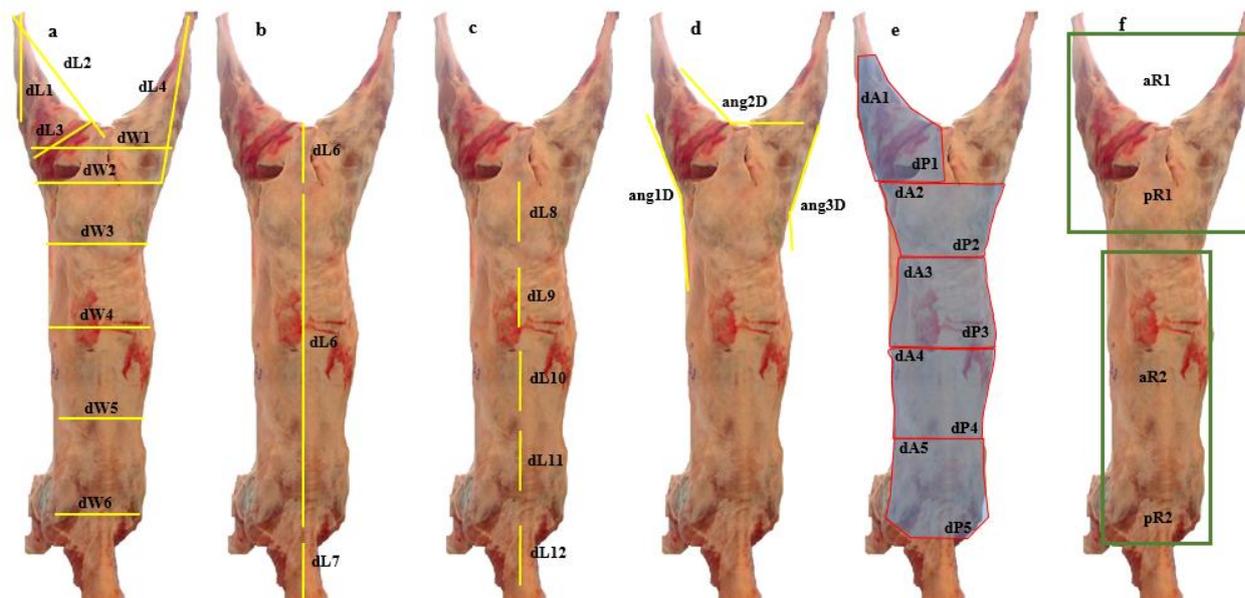


Figura 6.2 - Vista dorsal da carcaça de cordeiros leves da raça Churra da Terra Quente. Larguras e comprimentos (a, b e c); ângulos (d); áreas e perímetros (e); área e perímetro do retângulo em volta do quarto traseiro e quarto dianteiro (f). dW1= largura mínima da perna; dW2= largura máxima das pernas; dW3= largura mínima da sela; dW4= largura máxima do tórax ; dW5= largura mínima do tórax; dW6= largura máxima da pá; dL1= comprimento mínimo da perna; dL2= comprimento do períneo até a articulação tarso-metatarso; dL3= largura entre a articulação fêmur tibio-rotuliana e o períneo; dL4= comprimento máximo da perna; dL5= comprimento entre o início da bacia até o nível do períneo; dL6= comprimento entre uma base do pescoço e uma base da cauda; dL7= comprimento entre as vertebra cervicais; dL8= comprimento das vertebra sacras; dL9= comprimento das vertebra lombares; dL10= comprimento toracolombar; dL11= comprimento das vertebra torácicas; dL12= comprimento das vertebra cervicais; ang1D= ângulo de perna 1; ang2D= ângulo de perna 2; ang3D= ângulo de perna 3; dA1= área da perna; dA2= área lombar; dA3= área toracolombar; dA4= área torácica; dA5= área da pá; dP1= perímetro da perna; dP2= perímetro lombar; dP3= perímetro toracolombar; dP4= perímetro torácico; dP5= perímetro da pá; aR1= área do quarto traseiro; aR2= área do quarto dianteiro; pR1= perímetro do quarto traseiro; pR2= perímetro do quarto dianteiro.

6.2.3. Composição das peças

As carcaças foram divididas simetricamente em duas meias carcaças por um corte sagital da coluna vertebral. As meias carcaças foram divididas em seis peças: pescoço, pá, aba das costelas, costela, lombo e perna como descrito por Santos *et al.* (2015).

Seguindo a metodologia proposta por Pabiou *et al.* (2011), as peças foram separadas em três grupos de acordo com seu valor comercial: grupo de alto valor comercial (HVC), que incluiu a perna e o lombo; grupo de médio valor comercial (MVC) que incluiu a pá e as costelas; grupo de baixo valor comercial (LVC) que incluiu a aba, as costelas e o pescoço. Um grupo com o peso de todas as peças também foi criado (ALLCuts). Também foram calculadas as proporções dos grupos relativo ao PCF.

6.2.4. Modelos e análise estatística

Para cada um dos pesos dos grupos de peças e proporções relativas ao peso de carcaça fria, três modelos de estimativa foram utilizados: o modelo 1 correspondeu ao peso da carcaça fria mais as medições VIA obtidas na vista lateral da carcaça (CCW + VIA lateral); o modelo 2 incluiu o peso da carcaça fria mais as medições VIA obtidas na vista dorsal da carcaça (CCW + VIA dorsal); e o modelo 3 incluiu o peso da carcaça fria mais as medidas VIA da vista lateral e dorsal da carcaça (CCW + VIA lateral + VIA dorsal).

Foi realizada uma estatística descritiva com a determinação da média, desvio padrão, máximo, mínimo e coeficiente de variação (CV) para o peso e rendimento de carne magra dos grupos, e para todas as medições VIA. Foram realizadas análises de regressão passo a passo (*Stepwise*) para estimar os pesos das peças nos grupos e seus rendimentos, usando medições VIA e PCF como variáveis independentes. De acordo com Pabiou *et al.* (2011), o procedimento da regressão passo a passo é amplamente utilizado para selecionar variáveis que, de forma sequencial, introduz e descarta preditores no modelo, um de cada vez, com base em um determinado nível de significância. As equações de estimativa para proporções de pesos e rendimentos de carne magra dos grupos de peças foram geradas separadamente, tendo sido referidos como "estimativa de rendimento".

A precisão das estimativas foi com base no coeficiente de determinação (R^2) e no desvio padrão residual (DPR) (MacNeil, 1983). As análises estatísticas foram realizadas com o software JMP (versão 7; SAS Institute, Cary, NC, EUA).

6.3. Resultados e Discussão

6.3.1. Descrição das informações de carcaça

O Quadro 6.1 resume a estatística descritiva (média, desvio padrão, mínimo, máximo e coeficiente de variação) para o peso e rendimento de carne magra dos grupos de peças de valor comercial. As peças dos grupos separados por valor comercial presentes neste trabalho estão de acordo com as especificações de cordeiros leves na região Norte de Portugal (Santos *et al.*, 2007) e países do sul da Europa (Miguélez *et al.*, 2006; Díaz *et al.*, 2006; Sañudo *et al.*, 2000).

Quadro 6.1. Média, desvio padrão (dp), mínimo (Mín), máximo (Máx) e coeficiente de variação (CV) do peso e rendimento dos grupos de peças de valor comercial das carcaças de borregos.

	Descrição	Média	dp	Min	Máx	CV
CCW	Peso de carcaça fria	4523,59	1324,14	2162,20	7622,00	29,27
Peso (g)						
HVC	Peças de alto valor comercial	1962,05	578,76	946,20	3442,20	29,50
MVC	Peças de médio valor comercial	1416,64	412,06	700,00	2298,00	29,09
LVC	Peças de baixo valor comercial	834,00	277,45	370,20	1564,80	33,27
ALLCuts	Todas as peças	4212,69	1254,45	2016,40	7112,40	29,78
LM_HVC	Carne magra presente nas peças de alto valor comercial	1260,10	370,89	574,20	2244,80	29,43
LM_MVC	Carne magra presente nas peças de médio valor comercial	856,10	247,81	410,80	1408,60	28,95
LM_LVC	Carne magra presente nas peças baixo valor comercial	427,24	127,93	204,00	731,60	29,94
LM_All	Carne magra presente em todas as peças	2543,44	740,51	1189,00	4305,20	29,11
Proporção relativamente ao CCW (%)						
HVC%	Rendimento das peças de alto valor comercial	43,40	1,09	40,00	46,10	2,50
MVC%	Rendimento das peças de médio valor comercial	31,36	1,60	24,90	37,40	5,11
LVC%	Rendimento das peças de baixo valor comercial	18,28	1,40	15,50	21,60	7,65
ALLCuts%	Rendimento de todas as peças	93,05	1,99	83,20	98,70	2,14
LMY_HVC%	Rendimento de carne magra nas peças de alto valor comercial	27,90	1,17	25,80	31,30	4,21
LMY_MVC%	Rendimento de carne magra nas peças de médio valor comercial	18,96	1,22	15,00	22,50	6,42
LMY_LVC%	Rendimento de carne magra nas peças baixo valor comercial	9,45	0,57	8,30	10,80	6,08
LMY_All%	Rendimento de carne magra em todas as peças	56,30	2,34	51,10	63,80	4,16

O peso médio da carcaça fria foi de 4,52 kg. O peso médio dos quatro grupos de peças de valor comercial foi de 1,96 kg, 1,41 kg, 0,834 kg e 4,212 kg para o HVC, MVC, LVC e ALLCuts, respectivamente. Os coeficientes de variação para o peso das peças nos grupos e o peso de carne magra variaram entre 29,09-33,27% e 28,95-29,94%, respectivamente. Relativamente ao rendimento das peças e o rendimento de carne magra o CV foi baixo, variando entre 2,14 - 7,65% e 4,16 - 6,42%, respectivamente.

A média, desvio padrão, mínimo, máximo, coeficiente de variação das medições VIA tanto laterais como dorsais são apresentados nos Quadros 6.2 e 6.3, bem como as descrições das medidas lineares e de dimensões da carcaça. Medidas de comprimento, área, largura e ângulo feitas através de sistemas VIA também são reportadas em outros trabalhos (Rius-Vilarrasa *et al.*, 2010; Einarsson *et al.*, 2014; Ngo *et al.*, 2016).

Quadro 6.2. Médias, desvios padrão (dp), mínimo (Mín), máximo (Máx) e coeficiente de variação (CV) das medidas VIA obtidas com a vista lateral.

Descrição	Variável	Média	dp	Mín	Máx	CV
Área (cm)						
Área da perna	LA1	185,24	42,41	107,70	271,60	22,89
Área de lombo	LA2	163,06	39,43	97,80	270,60	24,18
Área do quarto dianteiro	LA3	337,77	66,84	204,20	471,30	19,79
Área da pá	LA4	140,50	35,35	83,50	260,70	25,16
Perímetro (cm)						
Perímetro da perna	LP1	58,64	7,08	44,00	70,70	12,07
Perímetro do lombo	LP2	50,82	7,80	14,00	65,70	15,34
Perímetro do quarto dianteiro	LP3	69,79	10,31	15,30	83,20	14,77
Perímetro da pá	LP4	48,81	8,13	11,40	67,50	16,65
Ângulo (θ)						
Ângulo da perna 1	Lâ1	142,44	5,77	129,80	153,90	4,05
Ângulo da perna 2	Lâ2	160,43	5,60	149,20	172,80	3,49
Ângulo da perna 3	Lâ3	154,55	9,37	136,00	178,90	6,06
Comprimento (cm)						
Comprimento da perna	Ll1	30,84	3,36	23,00	38,00	10,89
Comprimento toracolombar	Ll2	39,18	4,25	29,70	47,00	10,85
Comprimento entre o osso fibular do tarso e o úmero	Ll3	26,89	3,22	18,90	32,40	11,96
Comprimento da pá	Ll4	72,72	6,88	55,30	86,40	9,46
Largura (cm)						
Menor largura da perna	Lw1	9,70	1,12	7,20	12,00	11,59
Maior largura da perna	Lw2	10,25	1,29	7,70	13,00	12,58
Largura mínima da sela	Lw3	9,42	1,19	7,10	12,70	12,58
Largura mínima do tórax	Lw4	13,17	1,70	9,20	16,60	12,88
Largura máxima do tórax	Lw5	17,17	2,06	13,10	20,90	11,98
Maior largura da aba das costelas	Lw6	17,40	1,99	13,10	22,70	11,42

Em geral, as medições de área na vista lateral mostraram maior variação (CV entre 19,79 e 25,16%) e as larguras mostram menor variação com CV entre 11,42 e 12,88% (Quadro 6.2) enquanto que as medições de comprimento e ângulos da vista dorsal mostraram maior (CV entre 9,14 e 23,08) e menor variação (CV entre 3,05 e 3,38%), respectivamente (Quadro 6.3).

Quadro 6.3. Médias, desvios padrão (dp), mínimo (Mín), máximo (Máx) e coeficiente de variação (CV) das medidas VIA obtidas com a vista dorsal.

Descrição	Variável	Média	dp	Mín	Máx	CV
Área (cm)						
área da perna	dA1	131,06	23,33	89,8	203	17,80
área lombar	dA2	104,35	26,53	55,7	199,8	25,42
área toracolombar	dA3	408,77	85,04	218,7	621,3	20,81
área torácica	dA4	104,99	26,04	58,4	171,9	24,80
área da pá	dA5	136,70	33,40	77,2	242,1	24,43
Área do retângulo (cm)						
área do quarto traseiro	aR1	609,69	80,61	441,3	834,5	13,22
área do quarto dianteiro	aR2	101,65	23,50	57,4	189,8	23,12
Perímetro (cm)						
perímetro da perna	dP1	56,03	4,94	45,3	71,8	8,81
perímetro lombar	dP2	42,26	5,19	31,9	60,2	12,29
perímetro toracolombar	dP3	92,85	9,16	71,2	113,7	9,86
perímetro torácico	dP4	40,41	4,91	29,8	53,1	12,16
perímetro da pá	dP5	46,15	5,64	35,6	62,1	12,21
Perímetro do retângulo (cm)						
perímetro do quarto traseiro	pR1	99,22	6,81	84,1	117,8	6,86
perímetro do quarto dianteiro	pR2	40,09	4,62	30,4	54,6	11,53
Ângulo (θ)						
ângulo de perna 1	ang1D	164,08	5,54	150,2	174	3,38
ângulo de perna 2	ang2D	122,24	4,02	113,7	130,7	3,29
ângulo de perna 3	ang3D	167,78	5,12	157,3	179,7	3,05
Comprimento (cm)						
comprimento mínimo da perna	dL1	16,31	3,76	8,6	27	23,08
comprimento do perônio até a articulação tarso-metatarso	dL2	19,32	2,57	11,4	25	13,32
largura entre a articulação femúr tibio-rotuliana e o perônio	dL3	6,38	0,79	4,9	8,8	12,41
comprimento máximo da perna	dL4	24,51	3,75	6,1	33,8	15,31
comprimento entre o início da bacia até o nível do perônio	dL5	9,14	1,81	6	14,3	19,84
comprimento entre a base do pescoço e a base da cauda	dL6	49,70	4,72	41,2	61,4	9,50
comprimento entre as vertebrae cervicais	dL7	62,01	5,67	48,9	77,1	9,14
comprimento das vertebrae sacras	dL8	8,61	1,26	5,9	11,9	14,58
comprimento das vertebrae lombares	dL9	18,89	2,98	10,2	26,3	15,75
comprimento toracolombar	dL10	29,57	4,14	19,9	38,9	13,98
comprimento das vertebrae torácicas	dL11	42,95	4,97	32,5	54	11,58
comprimento das vertebrae cervicais	dL12	54,96	6,04	40,3	69,6	10,99
Largura (cm)						
largura mínima da perna	dW1	17,45	1,46	14,2	21,8	8,38
largura máxima das pernas	dW2	12,99	1,40	10,4	17,4	10,81
largura mínima da sela	dW3	9,72	1,22	7,9	13	12,58
largura máxima do tórax	dW4	10,59	1,40	7,6	14,3	13,22
largura mínima tórax	dW5	9,78	1,09	7	12	11,11
largura máxima da pá	dW6	10,88	1,28	7,6	13,3	11,76

6.3.2. Estimativa dos pesos das peças

Preditores, coeficiente de determinação (R^2) e desvio padrão residual (DPR) para estimar o peso e a proporção dos grupos de peças de alto, médio e baixo valor comercial, além do peso total de todas as peças, são apresentados no Quadro 6.4. De modo geral, os modelos usados para estimar o peso total e de cada grupo de peças de valor comercial foram semelhantes.

A regressão passo a passo baseada no CCW + medições VIA lateral (modelo 1) mostra que é possível estimar com precisão o peso das peças comerciais (R^2 entre 0,956 e 0,997, $P < 0,0001$). Os melhores modelos explicam 99% e 97% do peso de todas as peças (ALLCuts) e das peças de alto valor comercial (HVC), respectivamente. Para o ALLCuts, o peso de carcaça fria foi a primeira variável a entrar no modelo seguido da área do lombo (AL2), a segunda variável mais significativa ($P < 0,0001$). Já está bem documentado que o peso da carcaça é o preditor mais importante para estimar o peso das peças (Oliver *et al.*, 2010; Ngo *et al.*, 2016; Lambe *et al.*, 2009; Hopkins *et al.*, 2004; Brady *et al.*, 2003). Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Ngo *et al.* (2016), que analisou o poder de estimativa das medidas da carcaça obtidas através do sistema LDG (*Lamb digital grading*) sobre o peso das peças comerciais, encontraram resultados que variaram de moderado a alto. Para as peças de alto valor comercial, estes autores (Ngo *et al.*, 2016) encontraram R^2 com alta capacidade de precisão explicando 94% e 95% da variação do peso da perna e pá, respectivamente.

Quadro 6.4- Coeficiente de determinação (R^2) e desvio padrão residual (DPR) para o peso e proporções dos grupos de peças de valor comercial da carcaça de borregos usando os modelos CCW +VIA Lateral, CCW + VIA Dorsal e CCW + VIA Dorsal + VIA lateral.

	CCW + VIA Lateral			CCW + VIA Dorsal			CCW + VIA Lateral+ VIA Dorsal		
	Passo	R^2	DPR	Passo	R^2	DPR	Passo	R^2	DPR
Peso (g)									
HVC	3	0,993	48,247	3	0,995	41,025	3	0,995	41,025
MVC	2	0,977	63,895	4	0,980	60,01	6	0,983	56,215
LVC	3	0,956	60,009	4	0,959	58,726	8	0,976	46,338
ALLCuts	2	0,997	75,271	8	0,998	56,696	4	0,997	69,191
Rendimento(%)									
HVC%	5	0,297	0,945	5	0,360	0,901	7	0,280	0,977
MVC%	4	0,186	1,502	6	0,191	1,527	9	0,479	1,267
LVC%	5	0,315	0,932	7	0,530	1,024	11	0,4879	1,118
ALLCuts%	4	0,255	1,785	5	0,291	1,758	7	0,4113	1,636

HVC= Peças de alto valor comercial; MVC= Peças de médio valor comercial; LVC= Peças de baixo valor comercial; ALLCuts= Todas as peças; HVC%= Carne magra presente nas peças de alto valor comercial; MVC%= Carne magra presente nas peças de médio valor comercial; LVC%= Carne magra presente nas peças baixo valor comercial; ALLCuts%= Carne magra presente em todas as peças.

O modelo 2 (CCW + medições VIA dorsal), foi capaz de estimar com 99% e 96% o peso de ALLCuts e HVC, respetivamente. Entretanto, foram necessários oito passos para explicar o peso do grupo ALLCuts com o modelo 2, tendo sido sete medidas VIA (Ld3 + Ld6 + Ld9 + ang1d + ang2d + ang3d + aR2) e o CCW. Estes resultados são semelhantes aos reportados por Rius-Vilarrasa *et al.* (2009), que utilizando a tecnologia do VIA observaram uma precisão de 0,99 para o peso total das peças principais e R^2 de 0,97 para o peso da perna.

A estimativa de peso no modelo 3 para os pesos de LVC e ALLCuts explicou 99% e 98% da sua variação, tendo sido necessários oito (LL1+LA2+Ld3+Ld7+Ad2+Ad3+Ad5) e quatro passos (LA2+Ld3+Ld9) incluindo o CCW, respetivamente. Como pode ser visto, todas as variáveis VIA que entraram no modelo para explicar o peso de LVC e ALLCuts foram as medidas obtidas com a imagem dorsal da carcaça, indicando que para estes grupos de peças não é necessário fazer medições nas duas vistas da carcaça. Estes resultados são superiores aos encontrados por Brady *et al.* (2003) que ao avaliar o potencial do sistema LVS (*lamb vision system*) + peso de carcaça quente, verificaram que o peso de carcaça quente e outras variáveis VIA foram capazes de explicar 72% do peso da pá, peça de médio valor comercial.

6.3.3. Estimativa de rendimento dos grupos de peças comerciais

Os valores relativos aos rendimentos do peso dos grupos de peças estudados foram baixos a moderados, com R^2 entre 0,186 e 0,530, $P < 0,0001$ para os três modelos avaliados (Quadro 6.4). No modelo 1 as estimativas relativas ao rendimento dos grupos de peças foram baixas com R^2 entre 0,186 e 0,315, para o MVC% e LVC%, respectivamente. Os sistemas que trabalham em função da estimativa dos rendimentos das peças fornecem uma seleção que tem base nas peças e não na carcaça, refletindo assim em maior valor das peças vendidas no mercado (Kvame *et al.*, 2004).

A estimativa obtida para determinar a proporção de carne magra foi de $R^2 = 0,530$ para o grupo de peças LVC%, usando 7 variáveis, incluindo o CCW (modelo 2). Resultados superiores foram encontrados por Cunha *et al.* (2004). Ao utilizar o sistema LVS com o objetivo de validar equações de trabalhos anteriores, além de avaliar e desenvolver novas equações para estimar o rendimento das peças de borregos, estes autores (Cunha *et al.*, 2004) verificaram que o sistema LVS explicou 64 e 66% do rendimento das peças principais da carcaça (perna, lombo, costeletas e pá).

A estimativa relativa ao rendimento dos grupos de peças estudados no modelo 3 foram fracas, tendo sido o MVC%, LVC% e ALLCuts% as variáveis que apresentaram maiores coeficiente de determinação. Para o LVC%, foram necessárias 11 variáveis para explicar 48,7% da variação do peso dos rendimentos dos cortes de baixo valor comercial. Estes resultados são inferiores aos obtidos por Oliver *et al.* (2010), em um estudo realizado com bovinos. Segundo estes autores, o CCW foi um excelente preditor para estimar o rendimento das carnes de terceira ($R^2=0,83$) e primeira categoria ($R^2=0,80$). De acordo com estes autores (Oliver *et al.*, 2010), isso se deve pelo fato das peças que compõem estas categorias possuírem maior quantidade de carne.

6.3.4. Estimativa dos pesos de carne magra

Os consumidores de carne têm expressado maior preferência por carnes mais magras e o aumento dessa demanda leva a indústria da carne a procurar por soluções que sejam eficazes, como sistemas de análise de imagens, para estimar a composição da carcaça e características da carne. De acordo Rius-Vilarrasa *et al.* (2009), o marketing ligado ao valor da carcaça é importante quando se trabalha com estimativas precisas que facilitam a determinação da composição da carcaça.

No Quadro 6.5 são apresentados os preditores, coeficiente de determinação (R^2) e desvio padrão residual (DPR) para estimar o peso e a proporção de carne magra dos grupos de peças de alto, médio e baixo valor comercial, além do total de carne magra de todos os cortes. No geral, os modelos de estimativa usados no presente estudo para avaliar o peso total de carne magra dos grupos de peças comerciais foram semelhantes entre si, demonstrando que os modelos VIA tiveram uma alta precisão em estimar o peso de carne magra, como já foi reportado por outros autores (Ngo *et al.*, 2016; Oliver *et al.*, 2010; Rius-Vilarrasa *et al.*, 2009).

Quadro 6.5- Coeficiente de determinação (R^2) e desvio padrão residual (DPR) para o peso e proporções de carne magra dos grupos de peças de valor comercial da carcaça de borregos usando os modelos CCW +VIA Lateral, CCW +VIA Dorsal e CCW + VIA Dorsal + VIA lateral.

	CCW + VIA Lateral			CCW + VIA Dorsal			CCW + VIA Lateral + VIA Dorsal		
	Passo	R^2	DPR	Passo	R^2	DPR	Pas so	R^2	DPR
Peso (g)									
LM_HVC	6	0,992	35,983	2	0,984	47,289	5	0,991	36,313
LM_MVC	4	0,974	41,551	6	0,972	43,253	3	0,972	42,699
LM_LVC	2	0,956	27,440	4	0,964	25,325	10	0,981	19,291
LM_All	5	0,992	70,011	3	0,987	87,709	6	0,993	67,575
Rendimento (%)									
LMY_HVC%	2	0,291	1,007	6	0,301	1,041	6	0,206	1,110
LMY_MVC%	6	0,453	0,968	7	0,461	0,955	8	0,217	1,165
LMY_LVC%	4	0,219	0,529	2	0,130	0,547	8	0,140	0,579
LMY_All%	5	0,398	1,908	4	0,291	2,071	7	0,080	2,410

LM_HVC= Rendimento das peças de alto valor comercial; LM_MVC= Rendimento das peças de médio valor comercial; LM_LVC= Rendimento das peças de baixo valor comercial; LM_ALL= Rendimento de todas as peças; LMY_HVC%= Rendimento de carne magra nas peças de alto valor comercial; LMY_MVC%= Rendimento de carne magra nas peças de médio valor comercial; LMY_LVC%= Rendimento de carne magra nas peças baixo valor comercial; LMY_ALL%= Rendimento de carne magra em todas as peças.

Para o peso de carne magra presente nas peças, o modelo 1 mostrou uma precisão de 99%, 99% e 96% para explicar a variação do LM_HVC, LM_LVC e LM_All, respectivamente. As variáveis LM_HVC e LM_All incluíram o CCW, seis (LL1 + LL2 + LW6 + ang3L + AL1) e cinco medições VIA (LL1 + LL2 + ang1 + AL1), respectivamente. Isto demonstra que as medidas VIA que entraram no modelo condizem com a parte traseira da carcaça, onde está presente a maior quantidade de músculo, aumentando assim a precisão de estimativa do rendimento da carne (Oliver *et al.*, 2010). Novamente, o CCW foi a variável mais significativa nos modelos de estimativa ($P < 0,0001$), confirmando que esta variável é uma mais valia para estimar tanto o peso como o rendimento de carne magra. Os valores

obtidos no presente trabalho são superiores aos obtidos em outros relatórios. Stanford *et al.* (1998), por exemplo, ao comparar o sistema VIAScan com o sistema de classificação canadense para estimar o rendimento de carne vendável, observaram que o sistema VIAScan foi capaz de prever o LMY% (Rendimento de carne magra, do inglês *lean meat yield*-LMY%) com R^2 de 0,71 (DPR=14,3 g) em comparação com o sistema de classificação tradicional ($R^2= 0,52$ DPR=18,4 g).

A melhor estimativa obtida no modelo 2 incluiu duas medições VIA da vista dorsal (Ad3 + Ad5) e o CCW e explica cerca de 99% da variação do peso LM_All. Este resultado fornece uma precisão alta, além de demonstrar que as distribuições de carne magra dos borregos avaliados no presente estudo encontram-se distribuídas na área lombar-torácica e da pá, regiões com cortes que podem ser vendidos a diferentes preços, correspondendo com o que é desejável para a indústria da carne (Horgan *et al.*, 1995). Estes resultados são bastante satisfatórios e melhores que os relatados em trabalhos anteriores. Por exemplo, Hopkins *et al.* (2004), ao estudarem a precisão do sistema VIAScan na estimativa de rendimento de carne magra na carcaça de borregos, relataram que o sistema VIAScan explicou 52% do LMY%, utilizando 8 variáveis no sistema VIA, incluindo o peso de carcaça quente.

O valor da carcaça e, conseqüentemente, das suas peças, são influenciados pela localização da carne magra (Anderson *et al.*, 2016). Para o modelo 3, os melhores modelos explicam 97% e 99% do peso LM_MVC e LM_All, respetivamente, tendo sido necessários três passos para explicar o LM_MVC, incluindo o CCW, uma medida da vista lateral (LL4) e outra da vista dorsal (Ad1). Rius-Vilarrasa *et al.* (2009) encontraram uma precisão semelhante a obtida neste estudo ao utilizar o sistema VSS2000, sistema que utiliza duas imagens da carcaça (dorsal e lateral), para estimar o rendimento de carne de borregos no Reino Unido. Estes autores (Rius-Vilarrasa *et al.*, 2009) relataram que o sistema VSS2000 junto com o CCW foi capaz de estimar 99% do peso do rendimento do total da carne nas peças principais da carcaça.

6.3.5. Estimativa de rendimento da carne magra

Os valores relativos aos rendimentos de carne magra dos grupos de peças estudados foram baixos, com R^2 entre 0,080; $P>0,05$ e 0,461; $P<0,0001$ para os três modelos avaliados (Quadro 6.5). Assim como foi para o peso de carne magra, o CCW foi a primeira variável mais significativa a entrar nos modelos de estimativa, confirmando sua alta correlação com o rendimento das peças (Garret *et al.*, 1992).

Os modelos de estimativa desenvolvidos para determinar os rendimentos de carne magra presente nos grupos de peças, utilizando CCW e medições VIA da vista lateral (modelo 1), apresentaram precisão baixa, com valores de R^2 variando entre 0,219 e 0,453, $P < 0,0001$ para LMY_HVC% e LMY_MVC%, respectivamente. Para o LMY_MVC% foram necessários 6 passos (L12+ L14+L13+Lâ1+LA2+CCW), explicando 45,3% da variação do rendimento de carne magra do grupo de peças avaliadas. Apesar do valor encontrado ter sido baixo, as medidas VIA incluídas no modelo correspondem as regiões da carcaça que contem grande quantidade de carne, como por exemplo o lombo (LA2). De acordo no Horgan *et al.* (1995), o valor da carcaça depende, além do seu peso, da sua conformação, indicador importante para a determinação dos rendimentos das peças e rendimento total da carne vendável. Os resultados obtidos neste trabalho foram inferiores aos encontrados por Einarsson *et al.* (2014), que mostraram que o sistema VIASscan foi capaz de estimar o rendimento de carne magra das regiões de alto valor comercial, perna e lombo, em 60% e 31% respectivamente.

O modelo 2 apresentou resultados baixos relacionados ao rendimento dos grupos de peças estudados (R^2 entre 0,130 e 0,461). Sete medidas VIA da vista dorsal (dW2+dL12+ang1D+ang3D+dA1+dA3+dA5), foram responsáveis por explicar 46,1% da variação do rendimento de carne magra no grupo de peças de médio valor comercial (LMY_MVC%). Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Einarsson *et al.* (2014), que ao comparar o sistema de classificação EUROP e o VIAScan verificaram que o VIAScan explicou 36% da variação do rendimento de carne magra de cordeiros. Por seu lado, Hopkins *et al.* (2004) encontraram valores razoáveis para o rendimento de carne magra ($R^2 = 0,52$) utilizando também o VIAScan nas carcaças de cordeiros.

Relativamente ao modelo 3, as estimativas dos rendimentos dos grupos de peças também foram baixas, tendo o LMY_HVC% alcançado valor de R^2 de 0,206 (DPR= 1,110). Para o LMY_HVC% foram necessárias 6 variáveis (CCW+dL3+dW3+ dA2+ dA3+dP3) para explicar 20,6% da variação do peso do rendimento dos cortes de alto valor comercial. Estes resultados são inferiores aos obtidos em outros trabalhos. Por exemplo, Cunha *et al.* (2004) ao usar a tecnologia LVS, encontraram valores de R^2 de 0,68 para o rendimento de carne vendável quando incluíram o peso de carcaça quente e seis variáveis no modelo. Brady *et al.* (2003), também encontraram resultados inferiores aos obtidos no presente estudo, verificando $R^2 = 0,60$ ao avaliar o sistema LVS juntamente com o peso de carcaça quente para estimar o rendimento de carne vendável.

6.4. Conclusões

Os resultados deste estudo confirmam o que foi obtido em outros relatórios sobre a capacidade do sistema VIA em estimar o peso das peças de carcaças de cordeiros e seus rendimentos. Contudo, é preciso haver mais investigação no que diz respeito a estimativa de rendimento de carne magra para que a técnica apresente resultados mais robustos.

6.5. Referências

- Albrecht, E., Teuscher, F., Ender, K., Wegner, J., 2006. Growth- and breed-related changes of marbling characteristics in cattle. *Journal of Animal Science* 84, 1067-1075.
- Anderson, F., Pethick, D.W., Gardner, G.E., 2016. The impact of genetics on retail meat value in Australian lamb. *Meat Science* 117, 147-157.
- Bozkurt, Y., Aktan, S., Ozkaya, S., 2007. Body weight prediction using digital image analysis for slaughtered beef cattle. *Journal of Applied Animal Research* 32, 195-198.
- Brady, A.S., Belk, K.E., LeValley, S.B., Dalsted, N.L., Scanga, J.A., Tatum, J.D., Smith, G.C., 2003. An evaluation of the lamb vision system as a predictor of lamb carcass red meat yield percentage. *Journal of Animal Science* 81, 1488-1498.
- Craigie, C.R., Navajas, E.A., Purchas, R.W., Maltin, C.A., Buenger, L., Hoskin, S.O., Ross, D.W., Morris, S.T., Roehe, R., 2012. A review of the development and use of video image analysis (VIA) for beef carcass evaluation as an alternative to the current EUROP system and other subjective systems. *Meat Science* 92, 307-318
- Cunha, B.C.N., Belk, K.E., Scanga, J.A., LeValley, S.B., Tatum, J.D., Smith, G.C., 2004. Development and validation of equations utilizing lamb vision system output to predict lamb carcass fabrication yields. *Journal of Animal Science* 82, 2069-2076.
- Diaz, M.T., de la Fuente, J., Perez, C., Lauzurica, S., Alvarez, I., Ruiz de Huidobro, F., Velasco, S., Caneque, V., 2006. Body composition in relation to slaughter weight and gender in suckling lambs. *Small Ruminant Research* 64, 126-132.
- Du, C.-J., Sun, D.-W., Jackman, P., Allen, P., 2008. Development of a hybrid image proce-

- ssing algorithm for automatic evaluation of intramuscular fat content in beef M-longissimus dorsi. *Meat Science* 80, 1231-1237.
- Einarsson, E., Eythorsdottir, E., Smith, C.R., Jonmundsson, J.V., 2014. The ability of video image analysis to predict lean meat yield and EUROP score of lamb carcasses. *Animal* 8, 1170-1177.
- Elmasry, G., Barbin, D.F., Sun, D.-W., Allen, P., 2012. Meat quality evaluation by hyperspectral imaging Technique: An Overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 52, 689-711.
- Elmasry, G., Sun, D.-W., Allen, P., 2011. Non-destructive determination of water-holding capacity in fresh beef by using NIR hyperspectral imaging. *Food Research International* 44, 2624-2633.
- Garrett, R.P., Savell, J.W., Cross, H.R., Johnson, H.K., 1992. Yield grade and carcass weight effects on the cutability of lamb carcasses fabricated into innovative style subprimals. *Journal of Animal Science* 70, 1829-1839.
- Hopkins, D.L., Safari, E., Thompson, J.M., Smith, C.R., 2004. Video image analysis in the Australian meat industry - precision and accuracy of predicting lean meat yield in lamb carcasses. *Meat Science* 67, 269-274.
- Horgan, G.W., Murphy, S.V., Simm, G., 1995. Automatic assessment of sheep carcasses by image-analysis. *Animal Science* 60, 197-202.
- Irie, M., Kohira, K., 2012. Simple spot method of image analysis for evaluation of highly marbled beef. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 25, 592-596.
- Kvame, T., McEwan, J.C., Amer, P.R., Jopson, N.B., 2004. Economic benefits in selection for weight and composition of lamb cuts predicted by computer tomography. *Livestock Production Science* 90, 123-133.
- Lambe, N.R., Navajas, E.A., Buenger, L., Fisher, A.V., Roehe, R., Simm, G., 2009. Prediction of lamb carcass composition and meat quality using combinations of post-mortem measurements. *Meat Science* 81, 711-719.

- MacNeil, M.D., 1983. Choice of a prediction equation and the use of the selected equation in subsequent experimentation. *Journal of Animal Science* 57, 1328-1336.
- Martinez-Cerezo, S., Sanudo, C., Panea, B., Olleta, J.L., 2005. Breed, slaughter weight and ageing time effects on consumer appraisal of three muscles of lamb. *Meat Science* 69, 797-805.
- Miguelé, E., Zumalacarregui, J.M., Osorio, M.T., Beteta, O., Mateo, J., 2006. Carcass characteristics of suckling lambs protected by the PGI "Lechazo de Castilla y Leon" European quality label: Effect of breed, sex and carcass weight. *Meat Science* 73, 82-89.
- Nakahashi, Y., Maruyama, S., Seki, S., Hidaka, S., Kuchida, K., 2008. Relationships between monounsaturated fatty acids of marbling flecks and image analysis traits in longissimus muscle for Japanese Black steers. *Journal of Animal Science* 86, 3551-3556.
- Ngo, L., Ho, H., Hunter, P., Quinn, K., Thomson, A., Pearson, G., 2016. Post-mortem prediction of primal and selected retail cut weights of New Zealand lamb from carcass and animal characteristics. *Meat Science* 112, 39-45.
- Oliver, A., Mendizabal, J.A., Ripoll, G., Alberti, P., Purroy, A., 2010. Predicting meat yields and commercial meat cuts from carcasses of young bulls of Spanish breeds by the SEUROP method and an image analysis system. *Meat Science* 84, 628-633.
- Pabiou, T., Fikse, W.F., Cromie, A.R., Keane, M.G., Nasholm, A., Berry, D.P., 2011. Use of digital images to predict carcass cut yields in cattle. *Livestock Science* 137, 130-140.
- Rius-Vilarrasa, E., Buenger, L., Brotherstone, S., Macfarlane, J.M., Lambe, N.R., Matthews, K.R., Haresign, W., Roehe, R., 2010. Genetic parameters for carcass dimensional measurements from Video Image Analysis and their association with conformation and fat class scores. *Livestock Science* 128, 92-100.
- Rius-Vilarrasa, E., Buenger, L., Maltin, C., Matthews, K.R., Roehe, R., 2009. Evaluation of Video Image Analysis (VIA) technology to predict meat yield of sheep carcasses on-line under UK abattoir conditions. *Meat Science* 82, 94-100.
- Santos, V.A.C., Silva, S.R., Mena, E.G., Azevedo, J.M.T., 2007. Live weight and sex effects on carcass and meat quality of "Borrego terrincho-PDO" suckling lambs. *Meat Science*

77, 654-661.

Santos, V.A.C., Cabo, A., Raposo, P., Silva, J.A., Azevedo, J.M.T., Silva, S.R., 2015. The effect of carcass weight and sex on carcass composition and meat quality of "Cordeiro Mirandes"-Protected designation of origin lambs. *Small Ruminant Research* 130, 136-140.

Sanudo, C., Alfonso, M., Sanchez, A., Delfa, R., Teixeira, A., 2000. Carcass and meat quality in light lambs from different fat classes in the EU carcass classification system. *Meat Science* 56, 89-94.

Stanford, K., Richmond, R.J., Jones, S.D.M., Robertson, W.M., Price, M.A., Gordon, A.J., 1998. Video image analysis for on-line classification of lamb carcasses. *Animal Science* 67, 311-316.

Swan, J.E., Parrish, F.C., Wiegand, B.R., Larsen, S.T., Baas, T.J., Berg, E.P., 2001. Total body electrical conductivity (TOBEC) measurement of compositional differences in hams, loins, and bellies from conjugated linoleic acid (CLA)-fed stress-genotype pigs. *Journal of Animal Science* 79, 1475-1482.

PARTE III

*Utilização de VIA para avaliar características físico-químicas e a
gordura intramuscular*

Avaliação da gordura intramuscular por métodos de imagem: Uma revisão

7.1. Introdução

A produção de carne constitui um importante setor no mundo com uma tendência para o crescimento e a diversificação dos produtos (Speedy, 2003; Allen, 2007; Wathes *et al.*, 2013), entretanto, o consumo de carne é variável pois, depende das condições económicas do consumidor, de suas preferências religiosas e também de suas exigências com relação a qualidade dos produtos, apresentando pouco risco para a saúde (Lohumi *et al.*, 2016).

É reconhecido que a gordura intramuscular (do inglês *intramuscular fat* - IMF) ou o marmoreado (em inglês *marbling*) influenciam a qualidade da carne (Thompson, 2004; Gao e Zhao, 2009) e de facto, a IMF favorece algumas características sensoriais como a suculência, o sabor e o flavor que são atributos valorizados pelos consumidores (Wood *et al.*, 2008; Huang *et al.*, 2014). Para incluir informação sobre a IMF num sistema de valorização diferenciada tanto para as carcaças como para a carne são necessários métodos de simples aplicação e não-destrutivos. Estimar de forma exata e precisa a IMF, especialmente em carnes magras, tem sido um desafio que conduziu ao desenvolvimento de várias técnicas de imagem suportadas por diversas tecnologias. As que têm ganho maior visibilidade nos últimos anos são as técnicas de análise de imagem vídeo ou fotográfica (do inglês *video image analysis* – VIA); a análise de imagens hiperespectrais (do inglês *hyperspectral imaging* - HSI) e tomografia computadorizada (do inglês *computer tomography* - CT) (Scholz *et al.*, 2015; Kamruzzaman *et al.*, 2012; Xiong *et al.*, 2014; Valous *et al.*, 2016). Todas estas técnicas têm mostrado enorme potencial para estimar a IMF, embora nem sempre a custo suficientemente atrativo, que possam ser utilizadas em situação comercial. É ainda esperado um enorme desenvolvimento destas e de outras técnicas de imagem que permitam não só obter informação sobre a IMF mas também indicadores físico-químicos de qualidade da carne. Esta revisão tem por objetivo apresentar e discutir as técnicas VIA, HIS e CT para estimar a IMF. Será dado destaque especial à técnica VIA.

7.2. Breve nota sobre a metodologia do sistema VIA

Em geral, para um sistema VIA obter informação sobre a IMF é necessário uma câmara fotográfica de alta resolução para captura de imagens, que são armazenadas em um computador onde são posteriormente avaliadas em um programa de análise de imagem para processar a informação pretendida (Silva *et al.*, 2007; Jackman *et al.*, 2011). Com este sistema de avaliação é possível determinar a IMF e outras características da carne, como por exemplo, marmoreado, textura, cor e também classificar quanto ao rendimento de carne e de peças (Zapotoczny *et al.*, 2014). Este método é uma tentativa de simular a visão humana e o processo de avaliação feito no cérebro, onde o cérebro é substituído por algoritmos e a câmara digital substitui o olho humano (Du & Sun, 2006, Jackman *et al.*, 2011).

7.3. Gordura intramuscular

Reconhece-se que a gordura desempenha um papel importante na qualidade alimentar da carne (Wood *et al.*, 2008, Kouba e Sellier, 2011). O conteúdo da IMF, especialmente em bovinos e suínos, influencia fundamentalmente a qualidade da carne, em especial suas propriedades sensoriais de suculência, sabor, aroma e maciez (Huff-Lonergan *et al.*, 2002; Thompson, 2004; Skiba, 2010; Chmiel *et al.*, 2011; Sadkowski *et al.*, 2014). Antes de analisarmos o uso da tecnologia e de sistemas VIA para avaliar a IMF ou o marmoreado, é pertinente discutir as diferenças entre eles. A IMF é a gordura localizada no interior do músculo, incluindo a gordura não visível e a gordura visível (Huang *et al.*, 2014) e refere-se à gordura quimicamente extraída no músculo (Gao e Zhao, 2009) sendo esta uma medida objetiva. Por seu lado, o marmoreado, avaliado visualmente, corresponde as estruturas visíveis (manchas brancas) presentes na seção transversal do músculo, distribuídas uniformemente ou em faixas do tecido adiposo entre os feixes das fibras musculares (Tume, 2004; Sadkowski *et al.*, 2014; Przybylak *et al.*, 2016). Esta medida é subjetiva quando avaliada com pontuação de classificação e objetiva quando são empregues abordagens de análise de imagem (Faucitano *et al.*, 2005; Jackman *et al.*, 2008). Ambos são importantes indicadores para a avaliação da qualidade da carne e estão estreitamente relacionadas uma com a outra (Savell *et al.*, 1986; Devitt e Wilton, 2001; Kemp *et al.*, 2002).

A classificação da carne de acordo com os níveis da IMF é indispensável para se estabelecer um sistema de marketing para a qualidade sensorial da carne (Laksmanan *et al.*,

2012). Existe uma grande variação na composição lipídica do músculo, tanto entre as espécies, por exemplo, as carnes de porco, coelho e de aves são geralmente mais pobres em gordura do que a carne de cordeiro, como entre animais da mesma espécie (Hocquette *et al.*, 2010), o que pode estar relacionado a vários fatores, entre eles, os ligados à nutrição do animal. O marmoreado determina, além da suculência e maciez, a palatabilidade, que é o critério mais importante quando falamos em qualidade da carne. De facto, a quantidade moderada de marmoreado melhora o sabor e influencia a suculência da carne, sendo, por sua vez, bastante desejada pelos consumidores (Przybylak *et al.*, 2016).

Alguns estudos mostraram que a IMF ou marmoreado é essencial para a aceitabilidade da carne por parte dos consumidores (Gao e Zhao, 2009) e para a indústria de classificação da carne (Smith *et al.*, 2008). Quando visível, o marmoreado ou IMF pode ser considerado como um resultado positivo ou negativo de acordo com os critérios de qualidade dos consumidores e também de cada país (Hocquette *et al.*, 2010; Jакcman *et al.*, 2011). Por exemplo, nos Estados Unidos da América e na Ásia, e em especial no Japão, a qualidade da carne com uma quantidade visível de IMF é julgado positivamente enquanto que um excesso de gordura visível é dito impopular nos países europeus (Hocquette *et al.*, 2010). A Figura 7.1 ilustra a diferença visível na IMF entre amostras de carne de bovinos. Em geral, a percentagem de IMF é considerada como a característica de referência quando se pretende compreender o tamanho e distribuição dos depósitos de IMF sobre a qualidade da carne (Brethour, 1994; Ferguson, 2004).

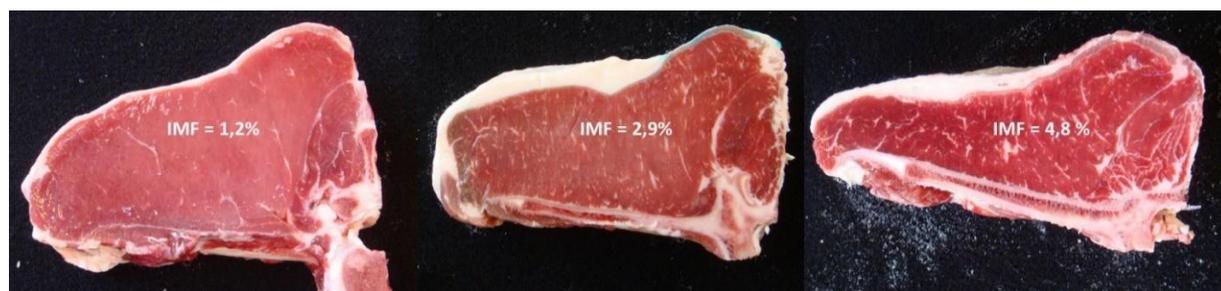


Figura 7.1- Exemplos de 3 peças de bovinos com diferentes níveis de IMF no músculo *Longissimus thoracis et lumborum* (LTL).

7.4. Usando análise de imagem para a determinação da IMF

O processamento de imagem tem sido bastante estudado nos últimos anos, com o intuito de melhorar o desenvolvimento das técnicas de imagens (Du e Sun 2004). No caso dos sistemas de imagem aplicados à avaliação da qualidade da carne estes tipos de técnicas precisam oferecer

uma abordagem inteligente e eficaz para fornecer informações fiéis sobre a composição da carne (Elmasry e Nakauchi, 2016). Por seu lado, a qualidade das imagens, assim como sua aquisição correta, são pontos extremamente importantes quando falamos em análise de imagem, pois uma boa aquisição maximiza a obtenção de informações úteis (Jackman *et al.*, 2011; Du & Sun, 2004).

O progresso tecnológico, tanto dos programas de análise de imagem como dos computadores, permitiu o desenvolvimento de equipamentos VIA aplicados à avaliação de carcaça e de carne, como por exemplo, o VBS 2000-Alemanha (McEvers *et al.*, 2012); VIAscan- Austrália (Hopkins, 1996); VSS2000-Alemanha (Rius-Vilarrasa *et al.*, 2010); CVS- Canadá. Estes tipos de equipamentos são comumente utilizados em linhas de abate e tem por objetivo determinar a composição e características da carcaça e da carne de forma diferenciada (Silva *et al.*, 2007). Entretanto, existem equipamentos simples e baratos, como câmeras fotográficas e softwares, que são capazes de analisar as imagens de peças ou carcaça de bovinos, suínos, caprinos e frangos, como é apresentado no Quadro 7.1.

Quadro 7.1- Resumo dos tipos de câmeras e softwares utilizados para avaliar as características da carcaça e da carne.

Referência	Espécie	Medida	Tipo de câmera	Software
Albrecht <i>et al.</i> (2006)	Bovinos	MARB	Sony DXC-930P	Quantimet 570 Leica (Cambridge Instruments, Leica, Bensheim, Germany)
Faucitano <i>et al.</i> (2005)	Suínos	MARB	DC 120 câmera digital	Corel Photo-Paint 8.2 (Coral Cooperation, Canada)
Nakahashi <i>et al.</i> (2008)	Bovinos	MARB	Mirror type camera HK 333	Beef Analyzer II (Hayasaka Rikoh Co. Ltd., Sapporo, Japan)
Peña <i>et al.</i> (2013)	Bovinos	MARB	Nikon D40	Image-Pro Plus Software (Image-Pro Plus 6, Media Cybernetics, USA)
Yang <i>et al.</i> (2006)	Bovinos	MARB	Nikon Coolpix 8700	ImageC (Aquino, Berlin, Germany)
Irie & kohira (2012)	Bovinos	MARB	Olympus C-3100	Image-Pro PLUS 4 (Media Cybernetics, Inc., MD, USA)
Du <i>et al.</i> (2008)	Bovinos	IMF	3-CCD Sony XC-003P	IC-RGB frame grabber (Imaging Technology, US)
Oliver <i>et al.</i> (2010)	Bovinos	CARC	OLlympus E-300	OPTIMAS (OPTIMAS 6.5, Media Cybernetics, USA)
Monteiro <i>et al.</i> (2012)	Caprinos	CARC	Sony DCR-TRV 440	ImageJ (ImageJ 1.38x)
Bozkurt <i>et al.</i> (2007)	Bovinos	CARC	Câmera digital	Image -Pro PLUS 5
Girolami <i>et al.</i> (2013)	Bovinos, suínos e frangos	Cor	CANON EOS 450D	Adobe Pothoshop CS3

MARB= Marmoreado; IMF= gordura intramuscular; CARC= carcaça.

A preparação da amostra, a iluminação controlada, e a redução de ruído das imagens são alguns elementos necessários para a obtenção de uma imagem de qualidade (Jackman *et al.*, 2011; Du e Sun, 2004). De acordo com estes autores (Du e Sun, 2004; Jackman *et al.*, 2011), a análise do processamento de imagem resume-se basicamente em obter as fotos num formato digital, aplicar filtros para melhorar a qualidade da imagem e remover as possíveis distorções; fazer uma segmentação na região de interesse na imagem; e medir as características desejadas, como por exemplo tamanho, textura e cor e, finalmente, a utilização dessas características para a elaboração de um modelo de estimativa. Na Figura 7.2 apresenta-se um exemplo de análise de uma peça do músculo LTL de suínos para obtenção de informação sobre a IMF.

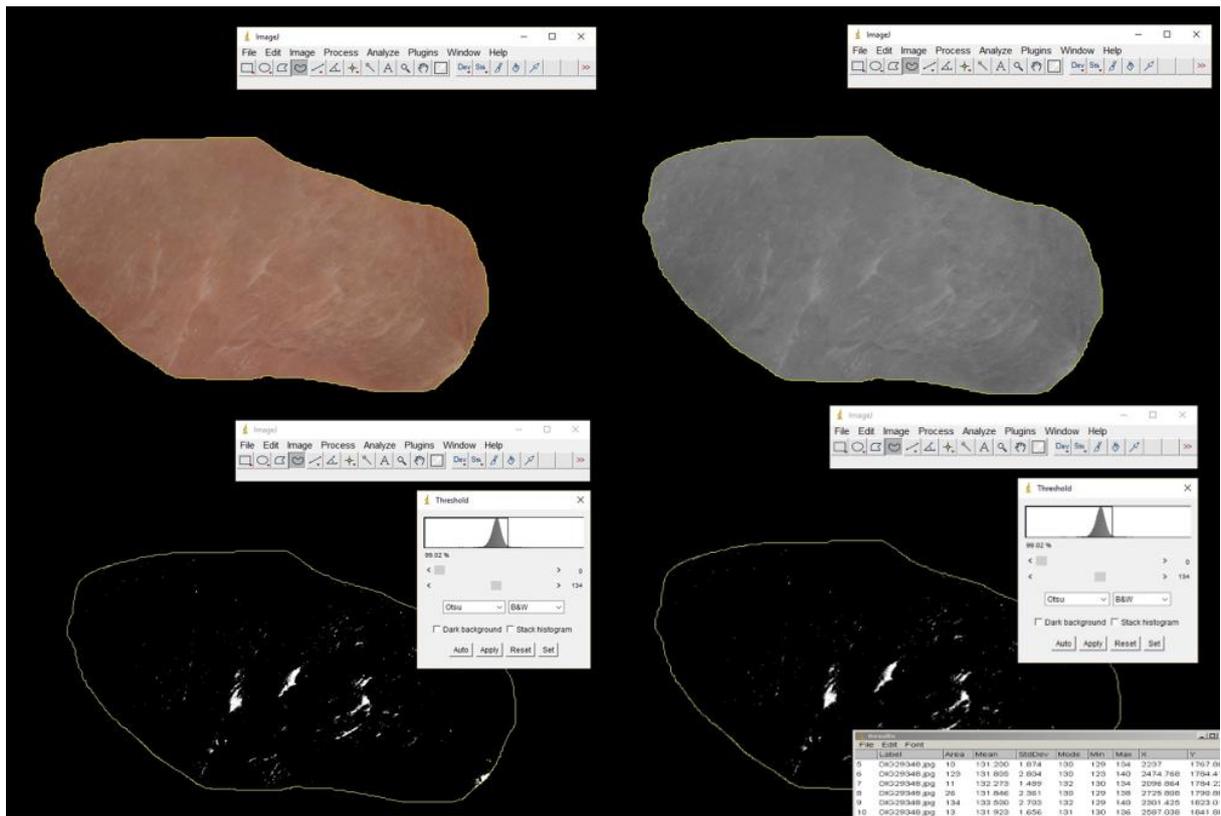


Figura 7.2 – Determinação de características da gordura intramuscular num plano do músculo *Longissimus thoracis et lumborum*. Sequência de passos de uma análise de imagem utilizando o programa ImageJ: a- segmentação a mão livre do músculo *Longissimus thoracis et lumborum*; b- transformação em uma imagem de 8-bit; c- imagem após a aplicação de um *threshold* e d- extração de dados numéricos.

7.5. Estimativa da IMF e do marmoreado por VIA

Na indústria da carne a avaliação visual é geralmente usada para determinar o grau de marmoreado, entretanto, a aplicação do VIA permite que a determinação do marmoreado da carne seja feita de forma rápida e precisa (Cheng *et al.*, 2015). O Quadro 7.2 mostra alguns exemplos em que é utilizada a análise de imagem para estimar o marmoreado da carne em bovinos e suínos.

Quadro 7.2. Resumo dos trabalhos com análise de imagens para estimar o marmoreado em bovinos e suínos.

Referência	Espécie	n	Técnica	Método estatístico	Precisão
Jackman <i>et al.</i> (2009)	Bovinos	64	AIC	Correlação	r (0,74-0,96) R^2 (0,55-0,92)
Irie & Kohira (2012)	Bovinos	82	AI	Correlação	r (0,55-0,81) r (0,89-0,97)
Faucitano <i>et al.</i> (2005)	Suínos	60	AIC	Correlação	r (0,26 a 0,67)
Indurain <i>et al.</i> (2009)	Bovinos	40	AIC	Correlação/Regressão	r (0,450) r (0,567) R^2 (0,240- 0,570)
Peña <i>et al.</i> (2013)	Bovinos	180	AIC	Correlação	r (0,176-0,844)

AIC= análise de imagem por computador; AI= análise de imagem.

O processamento de imagem para avaliar o marmoreado e suas características envolve algumas operações de análise, como já foi mencionado anteriormente. Com base neste processo, Jackman *et al.* (2009), ao utilizarem dois métodos de avaliação, um manual e outro de segmentação automática do marmoreado no músculo LTL de bovinos, encontraram correlações muito fortes ($r= 0,74-0,96$) entre as características de marmoreado para ambos os métodos (Quadro 7.2). Estes autores (Jackman *et al.*, 2009) também encontram valores excelentes de coeficiente de determinação entre os dois métodos e as características de marmoreado ($R^2= 0,55-0,92$). A fim de melhorar o método de segmentação no músculo, Irie & Kohira (2012), em um trabalho similar, investigaram dois tipos de métodos para avaliar o grau de marmoreado em bovinos através da análise de imagem (AI) e encontraram correlações de moderada a alta para o marmoreado entre os diferentes músculos, com r variando entre 0,55-0,81, e r de 0,89-0,97 para os diferentes métodos comparados.

As características de marmoreado avaliadas através da análise de imagem por computador encontradas por Faucitano *et al.* (2005) foram significativamente correlacionadas com o conteúdo da IMF ($P<0,001$) revelando que esta é uma técnica confiável para determinar as características da qualidade da carne de porco. Resultados semelhantes também foram encontrados por Indurain *et al.* (2009), onde o marmoreado medido por análise de imagem por computador foi moderadamente correlacionado com o número ($r=0,450$) e tamanho das partículas ($r=0,567$) de IMF. Entretanto, Peña *et al.* (2013), com o objetivo de estimar o conteúdo da IMF, encontraram uma correlação fraca (r entre 0,18 e 0,46) entre a IMF avaliada por imagem, o marmoreio e as análises químicas.

7.6. Outros métodos não destrutivos baseados na imagem para determinar a IMF

Como exposto anteriormente, os métodos tradicionais para determinar a IMF na carne de animais de produção possuem várias desvantagens (são abordagens destrutivas e demoradas) e devido a este facto, tem havido nos últimos anos uma procura por técnicas eficientes e objetivas capazes de estimar a IMF. Com base nisso, surgiram inúmeros estudos sobre a determinação da gordura intramuscular por métodos não-destrutivos além do VIA e algumas delas, como a análise de imagens hiperespectrais (HSI) e tomografia computadorizada (CT), têm merecido a atenção de várias equipas pelo mundo e serão discutidas a seguir.

7.6.1 Análise de Imagens Hiperespectrais e Tomografia Computadorizada

Recentes trabalhos que englobam a análise de HSI têm sido desenvolvidos na área da ciência dos alimentos (Liu e Ngadi, 2014; Lohumi *et al.*, 2016). Esta técnica consiste na combinação de imagens digitais que são usadas para adquirir ao mesmo tempo informações tanto espacial como espectral de um determinado objeto (Jackman *et al.*, 2011; Liu e Ngadi, 2014; Lohumi *et al.*, 2016). A HSI é capaz de analisar a carne internamente, pois os comprimentos de luz e de onda refletidos penetram na carne gerando informação sobre sua estrutura (Ranasinghesagara *et al.*, 2010; Jackman *et al.*, 2011; Liu e Ngadi, 2014).

Relativamente à CT esta técnica de imagem tem sido aplicada à ciência animal de forma alargada, já que foi usada em estudos nutricionais, genéticos e fisiológicos (Afonso *et al.*, 2007; Bunger *et al.*, 2011; Scholz *et al.*, 2015). De acordo com estes autores, esta técnica permite a avaliação da composição corporal de animais vivos quando há o desejo em quantificar alterações nas proporções dos tecidos e composição corporal, ou, utilizar informações sobre as características da carcaça para introduzir nos programas de melhoramento genético. Esta técnica também tem sido utilizada em peças de bovinos, suínos e ovinos como uma ótima ferramenta para avaliar a IMF (Font-i-Furnols *et al.*, 2013, 2014; Prieto *et al.*, 2010; Clelland *et al.*, 2014). Apesar da dimensão deste tipo de equipamento é possível analisar também as peças da carcaça (Figura 7.3). Para além dos equipamentos de CT referidos nestes trabalhos e que são os que têm origem na medicina humana para diagnóstico, também tem sido estudada a aplicação de microtomografia de raios X (μ CT) ao exame de peças para obter informação sobre a IMF.

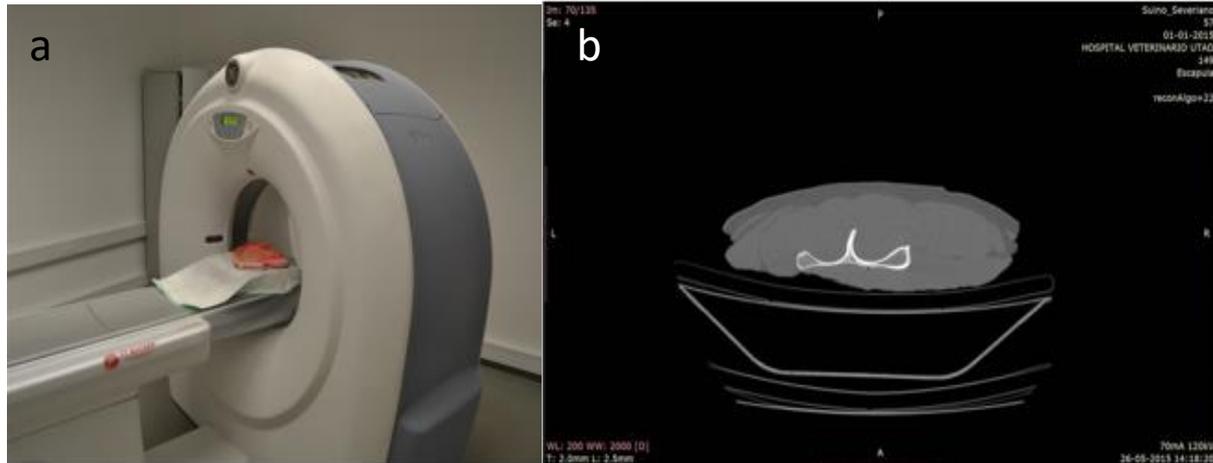


Figura 7.3- Exemplo de um exame de uma peça de suíno num equipamento de tomografia computadorizada (a); imagem de CT da peça em que se nota com diferentes níveis de cinzento o osso, o músculo, a gordura subcutânea e o couro (b).

De facto, ao analisar as correlações entre o conteúdo da IMF química da carne de bovinos e a IMF quantificada por μ CT, Frisullo *et al.* (2010), verificaram a excelência desta técnica ao conseguirem explicar entre 92 e 99% da variação da IMF nos músculos. O Quadro 3 mostra alguns estudos representativos da determinação da IMF por HSI e CT.

Quadro 7.3- Resumo dos trabalhos para estimar o percentual da gordura intramuscular por imagem hiperespectral e tomografia computadorizada em bovinos e suínos.

Referência	Espécie	n	Técnica	Método Estatístico	r	R ²	DPR
Liu e Ngadi (2014)	Suínos	20	Imagem Hiperspectral	PLS, Modelos Multilineares		0,97	0,17
Lohumi <i>et al.</i> (2016)	Bovinos	24	Imagem Hiperspectral	ANOVA, SAM, EDM		0,91-0,96	
Font-i-Furnols <i>et al.</i> (2013)	Suínos	365	Tomografia computadorizada	OLR, Volumes relativos		0,83	0,46
Prieto <i>et al.</i> (2010)	Bovinos	194	Tomografia computadorizada	PLS		0,71-0,76	
Clelland <i>et al.</i> (2014)	Borregos	209	Tomografia computadorizada	Regressão linear, Valores da densidade da gordura e do músculo		0,65	0,41
Font-i-Furnols <i>et al.</i> (2014)	Bovinos	212	Tomografia computadorizada	Regressão linear	0,70	0,58	0,75

PLS= método dos mínimos quadrados; SAM= similaridade espectral, EDM= medida de distância euclidiana; OLR= regressão linear simples.

Com a utilização das técnicas HSI e CT é comum valores de coeficiente de determinação superiores a 0,9, sendo, todavia, os valores de $R^2 > 0,8$ considerados excelentes de acordo com Shiranita *et al.*, (2000) para regressão múltipla. Apesar disto, existem resultados muito animadores como o que está bem documentado no trabalho de Liu e Ngadi (2014), que desenvolveram um método não destrutivo e rápido para estimar o conteúdo da IMF na carne de suínos usando a tecnologia de imagem hiperespectral. Estes autores utilizaram três modelos multilineares e verificaram que o modelo de regressão pelo Método dos Mínimos Quadrados (do inglês *partial least square regression - PLS*) mostrou um desempenho excelente com os modelos usados para calibração ($R^2_c = 0,94$, $R^2_{adj} = 0,92$, $DPR_c = 0,17$) e validação ($R^2_v = 0,97$, $R^2_{adj} = 0,93$, $DPR_v = 0,17$), indicando que a HSI tem grande capacidade para estimar a IMF. Estes resultados corroboram com os de Lohumi *et al.*, (2016) que, ao investigarem a distribuição da IMF em bovinos, mostraram que a HSI tem potencial para determinar a IMF ($R^2 = 0,95$ e $0,96$).

O uso de medições de volume nas técnicas de imagem são abordagens atrativas para estimar tanto as características de composição das carcaças como da carne. Essa é uma via muito utilizada em CT (Scholz *et al.*, 2015). Com o objetivo de avaliar dois métodos estatísticos, o PLS e a regressão linear simples (do inglês *ordinary linear regression - OLR*), como preditores da IMF em suínos a partir da CT, Font-i-Furnols *et al.*, (2013) encontraram um elevado coeficiente de determinação, tendo sido o OLR o melhor modelo de estimativa ($R^2 = 0,83$, $DPR = 0,46\%$). Com a mesma técnica e com objetivos semelhantes, a IMF estimada por Prieto *et al.*, (2010) com modelos PLS apresentou resultados satisfatórios ($R^2 = 0,71-0,76$ e $DPR_{CV} = 0,54-0,57\%$, respetivamente) quando avaliaram peças de carne de bovinos. Por seu lado, Clelland *et al.*, (2014) mostraram que a CT aplicada em borregos fornece uma estimativa precisa ($R^2_{adj} = 0,65$) do peso da IMF ao usar informação relacionadas com a IMF e com densidade do músculo. Entretanto, a estimativa máxima encontrada por Font-i-Furnols *et al.* (2014) para estimar a IMF de peças de bovino foi de $R^2 = 0,58$ e $DPR_{CV} = 0,75\%$ ao combinar os dados obtidos na região do lombo e os dados de toda a imagem da 11^a costela.

Vários autores que trabalharam com CT (Font-i-Furnols *et al.*, 2013, 2014; Prieto *et al.*, 2010) apontam que é possível determinar com precisão a IMF a partir de modelos multivariados e que o uso de métodos como a regressão pelo método PLS tem mostrado sucesso na estimativa da IMF (Peres *et al.*, 2010). O modelo PLS é geralmente usado quando há muitas variáveis de estimativa que estão correlacionadas (Font-i-Furnols *et al.*, 2009). Segundo estes autores (Font-i-Furnols *et al.*, 2009), este modelo tenta extrair o número limitado de fatores latentes que

explicam a covariância entre a estimativa e a variável resposta. Estas técnicas estatísticas são comumente usadas em dados de HSI e de TC (Liu *et al.*, 2003; Liu e Ngadi, 2014; Pan *et al.*, 2016; Font-i-Furnols *et al.*, 2013, 2014; Johansen *et al.*, 2007; Prieto *et al.*, 2010) e têm mostrado resultados satisfatórios.

7.7. Conclusões

O crescimento na área da ciência animal levou ao progresso no campo computacional e aos programas de análise de imagem. As técnicas com base em imagens como por exemplo, a tomografia computadorizada e as imagens hiperespectrais têm mostrado grande potencial em estimar a gordura intramuscular de forma diferenciada, entretanto, os métodos VIA tem trazido resultados igualmente satisfatórios, sobretudo, com os sistemas VIA simples, que apresentam melhor custo:benefício.

7.8. Referências

- Afonso, J.J., Cadavez, V.P., Silva, S.R., 2007. Avaliação da composição de ovinos e caprinos por tomografia computadorizada e ressonância magnética nuclear. In: Carcaça e carne de borrego e cabrito: avaliação da qualidade e da composição. Ed. UTAD. 8, 187-209.
- Albrecht, E., Teuscher, F., Ender, K., Wegner, J., 2006. Growth- and breed-related changes of marbling characteristics in cattle. *Journal of Animal Science* 84, 1067-1075.
- Allen, P., 2007. New methods for grading beef and sheep carcasses. In: Lazzaroni, C Gigli, S and Gabiña D, Evaluation of carcass and meat quality in cattle and sheep. EAAP publications No. 123, Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 39–48.
- Bozkurt, Y., Aktan, S., Ozkaya, S., 2007. Body weight prediction using digital image analysis for slaughtered beef cattle. *Journal of Applied Animal Research* 32, 195-198.
- Brethour, J.R., 1994. Estimating marbling score in live cattle from ultrasound images using pattern recognition and neural network procedures. *Journal of Animal Science* 72, 1425-1432.
- Bünger, L., Macfarlane, J.M., Lambe, N.R., Conington, J., McLean, K.A., Moore, K., Glasbey, C.A., Simm, G., 2011. Use of X-Ray Computed Tomography (CT) in UK Sheep

- Production and Breeding. In: CT Scanning-Techniques and Applications Ed.: Subburaj, K. INTECH, 329–348.
- Cheng, W., Cheng, J.-H., Sun, D.-W., Pu, H., 2015. Marbling analysis for evaluating meat quality: methods and techniques. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 14, 523-535.
- Chmiel, M., Slowinski, M., Dasiewicz, K., 2011. Application of computer vision systems for estimation of fat content in poultry meat. *Food Control* 22, 1424-1427.
- Clelland, N., Bungler, L., McLean, K.A., Conington, J., Maltin, C., Knott, S., Lambe, N.R., 2014. Prediction of intramuscular fat levels in Texel lamb loins using X-ray computed tomography scanning. *Meat Science* 98, 263-271.
- Devitt, C., and Wilton, J., 2001. Genetic correlation estimates between ultrasound measurements on yearling bulls and carcass measurements on finished steers. *Journal of Animal Science* 79, 2790-2797.
- Du, C.J., Sun, D.W., 2004. Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Trends in Food Science & Technology* 15, 230-249.
- Du, C.J., Sun, D.W., 2006. Learning techniques used in computer vision for food quality evaluation: a review. *Journal of Food Engineering* 72, 39-55.
- Du, C.J., Sun, D.W., Jackman, P., Allen, P., 2008. Development of a hybrid image processing algorithm for automatic evaluation of intramuscular fat content in beef *M-longissimus dorsi*. *Meat Science* 80, 1231-1237.
- Elmasry, G.M., Nakauchi, S., 2016. Image analysis operations applied to hyperspectral images for non-invasive sensing of food quality - A comprehensive review. *Biosystems Engineering* 142, 53-82.
- Faucitano, L., Huff, P., Teuscher, F., Garipey, C., Wegner, J., 2005. Application of computer image analysis to measure pork marbling characteristics. *Meat Science* 69, 537-543.

- Ferguson, D.M., 2004. Objective on-line assessment of marbling: a brief review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 44, 681-685.
- Font i Furnols, M., Fabiana Teran, M., Gispert, M., 2009. Estimation of lean meat content in pig carcasses using X-ray Computed Tomography and PLS regression. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 98, 31-37.
- Font-i-Furnols, M., Brun, A., Tous, N., Gispert, M., 2013. Use of linear regression and partial least square regression to predict intramuscular fat of pig loin computed tomography images. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 122, 58-64.
- Font-I-Furnols, M., Brun, A., Marti, S., Realini, C.E., Perez-Juan, M., Gonzalez, J., Devant, M., 2014. Composition and intramuscular fat estimation of Holstein bull and steer rib sections by using one or more computed tomography cross-sectional images. *Livestock Science* 170, 210-218.
- Frisullo, P., Marino, R., Laverse, J., Albenzio, M., Del Nobile, M.A., 2010. Assessment of intramuscular fat level and distribution in beef muscles using X-ray microcomputed tomography. *Meat Science* 85, 250-255.
- Gao, S.-Z., Zhao, S.-M., 2009. Physiology, affecting factors and strategies for control of pig meat intramuscular fat. *Recent patents on food, nutrition & agriculture* 1, 59-74.
- Girolami, A., Napolitano, F., Faraone, D., Braghieri, A., 2013. Measurement of meat color using a computer vision system. *Meat Science* 93, 111-118.
- Hocquette, J.F, Gondret, F., Baéza, E., Médale, F., Jurie, C., and Pethick, D.W., 2010. Intramuscular fat content in meat producing animals: development, genetic and nutritional control, and identification of putative markers. *Animal* 4, 303–319.
- Hopkins, D.L., 1996. The relationship between muscularity, muscle:bone ratio and cut dimensions in male and female lamb carcasses and the measurement of muscularity using image analysis. *Meat Science* 44, 307-317.
- Huang, H., Liu, L., Ngadi, M.O., Garipey, C., 2014. Rapid and non-invasive quantification of intramuscular fat content of intact pork cuts. *Talanta* 119, 385-395.

- Huff-Lonergan, E.T., Baas, T.J., Malek, M., Dekkers, J.C.M., Prusa, K., and Rothschild, M.F., 2002. Correlations among selected pork quality traits. *Journal of Animal Science* 80, 617-627.
- Indurain, G., Carr, T.R., Goni, M.V., Insausti, K., Beriain, M.J., 2009. The relationship of carcass measurements to carcass composition and intramuscular fat in Spanish beef. *Meat Science* 82, 155-161.
- Irie, M., Kohira, K., 2012. Simple Spot Method of Image Analysis for Evaluation of Highly Marbled Beef. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 25, 592-596.
- Jackman, P., Sun, D.W., Du, C.J., Allen, P., Downey, G., 2008. Prediction of beef eating quality from colour, marbling and wavelet texture features. *Meat Science* 80, 1273-1281.
- Jackman, P., Sun, D.-W., Allen, P., 2009. Automatic segmentation of beef longissimus dorsi muscle and marbling by an adaptable algorithm. *Meat Science* 83, 187-194.
- Jackman, P., Sun, D.-W., Allen, P., 2011. Recent advances in the use of computer vision technology in the quality assessment of fresh meats. *Trends in Food Science & Technology* 22, 185-197.
- Johansen, J., Egelanddal, B., Roe, M., Kvaal, K., Aastveit, A.H., 2007. Calibration models for lamb carcass composition analysis using Computerized Tomography (CT) imaging. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 87, 303-311.
- Kamruzzaman, M., Elmasry, G., Sun, D., Allen, P., 2012. Non-destructive prediction and visualization of chemical composition in lamb meat using NIR hyperspectral imaging and multivariate regression. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 16, 218–226.
- Kemp, J.D., Herring, W.O., and Kaiser, C.J., 2002. Genetic and environmental parameters for steer ultrasound and carcass traits. *Journal of Animal Science* 80, 1489-1496.
- Kouba, M., and Sellier, P., 2011. A review of the factors influencing the development of intermuscular adipose tissue in the growing pig. *Meat Science* 88, 213-220.

- Lakshmanan S, Koch T, Brand S, Männicke N, Wicke M, Mörlein D, Raum K (2012), Prediction of the intramuscular fat content in loin muscle of pig carcasses by quantitative time-resolved ultrasound. *Meat Science* 90, 216–225.
- Liu, Y.L., Lyon, B.G., Windham, W.R., Realini, C.E., Pringle, T.D.D., Duckett, S., 2003. Prediction of color, texture, and sensory characteristics of beef steaks by visible and near infrared reflectance spectroscopy. A feasibility study. *Meat Science* 65, 1107-1115.
- Liu, L., Ngadi, M.O., 2014. Predicting intramuscular fat content of pork using hyperspectral imaging. *Journal of Food Engineering* 134, 16-23.
- Lohumi, S., Lee, S., Lee, H., Kim, M.S., Lee, W.-H., Cho, B.-K., 2016. Application of hyperspectral imaging for characterization of intramuscular fat distribution in beef. *Infrared Physics & Technology* 74, 1-10.
- McEvers, T.J., Hutcheson, J.P., Lawrence, T.E., 2012. Quantification of saleable meat yield using objective measurements captured by video image analysis technology. *Journal of Animal Science* 90, 3294-3300.
- Monteiro, A., Teixeira, A., Azevedo, J., Silva, S.R. 2012. Determination of carcass composition of goats by video image analysis. IV International workshop on Computer Image Analysis in Agriculture, C0737, 6 pp. http://cigr.ageng2012.org/images/fotosg/tabla_137_C0737.pdf
- Nakahashi, Y., Maruyama, S., Seki, S., Hidaka, S., Kuchida, K., 2008. Relationships between monounsaturated fatty acids of marbling flecks and image analysis traits in longissimus muscle for Japanese Black steers. *Journal of Animal Science* 86, 3551-3556.
- Oliver, A., Mendizabal, J.A., Ripoll, G., Alberti, P., Purroy, A., 2010. Predicting meat yields and commercial meat cuts from carcasses of young bulls of Spanish breeds by the SEUROP method and an image analysis system. *Meat Science* 84, 628-633.
- Pan, T.T., Sun, D.W., Cheng, J.H., Pu, H.B., 2016. Regression algorithms in hyperspectral data analysis for meat quality detection and evaluation. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 15, 529-541.

- Pena, F., Molina, A., Aviles, C., Juarez, M., Horcada, A., 2013. Marbling in the *longissimus thoracis* muscle from lean cattle breeds. Computer image analysis of fresh versus stained meat samples. *Meat Science* 95, 512-519.
- Peres, A.M., Dias, L.G., Joy, M., Teixeira, A., 2010. Assessment of goat fat depots using ultrasound technology and multiple multivariate prediction models. *Journal of Animal Science* 88, 572-580.
- Prieto, N., Navajas, E.A., Richardson, R.I., Ross, D.W., Hyslop, J.J., Simm, G., Roehe, R., 2010. Predicting beef cuts composition, fatty acids and meat quality characteristics by spiral computed tomography. *Meat Science* 86, 770-779.
- Przybylak, A., Boniecki, P., Koszela, K., Ludwiczak, A., Zaborowicz, M., Lisiak, D., Stanisiz, M., Slosarz, P., 2016. Estimation of intramuscular level of marbling among Whiteheaded Mutton Sheep lambs. *Journal of Food Engineering* 168, 199-204.
- Ranasinghesagara, J., Nath, T.M., Wells, S.J., Weaver, A.D., Gerrard, D.E., Yao, G., 2010. Imaging optical diffuse reflectance in beef muscles for tenderness prediction. *Meat Science* 84, 413-421.
- Rius-Vilarrasa, E., Buenger, L., Brotherstone, S., Macfarlane, J.M., Lambe, N.R., Matthews, K.R., Haresign, W., Roehe, R., 2010. Genetic parameters for carcass dimensional measurements from Video Image Analysis and their association with conformation and fat class scores. *Livestock Science* 128, 92-100.
- Sadkowski, T., Ciecierska, A., Majewska, A., Oprzadek, J., Dasiewicz, K., Ollik, M., Wicik, Z., Motyl, T., 2014. Transcriptional background of beef marbling - Novel genes implicated in intramuscular fat deposition. *Meat Science* 97, 32-41.
- Savell, J.W., Cross, H.R., and Smith, G.C., 1986. Percentage ether extractable fat and moisture content of beef longissimus muscle as related to USDA marbling score. *Journal of Food Science* 51, 838-839
- Scholz, M., Bünger, L., Kongsro, J., Baulain, U., Mitchell, D., 2015. Non-invasive methods for the determination of body and carcass composition in livestock: dual-energy X-ray

- absorptiometry, computed tomography, magnetic resonance imaging and ultrasound: invited review. *Animal* 9, 1250–1264.
- Shiranita, K., Hayashi, K., Otsubo, A., Miyajima, T., Takiyama, R., Ieee, 2000. Determination of meat quality by image processing and neural network techniques. Ninth Ieee International Conference on Fuzzy Systems (Fuzz-Ieee 2000), Vols 1 and 2, 989-992.
- Silva, S.R., Guedes, C.M., Cadavez, V.P., Azevedo, J.M.T., 2007. Avaliação de carcaças por Análise de Imagens Vídeo. In: Carcaça e carne de borrego e cabrito: avaliação da qualidade e da composição. Ed. UTAD. 8, 211-231.
- Skiba, G., 2010. Effects of energy or protein restriction followed by re-alimentation on the composition of gain and meat quality characteristics of musculus longissimus dorsi in pigs. *Archives of Animal Nutrition* 64, 36-46.
- Smith, G.C., Tatum, J.D., Belk, K.E., 2008. International perspective: characterisation of united states department of agriculture and meat standards Australia systems will be assessing beef quality, *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48, 1465–1480.
- Speedy, A.W., 2003. Global production and consumption of animal source foods. *Journal of Nutrition* 133, 4048–4053.
- Thompson, J.M., 2004. The effects of marbling on flavour and juiciness scores of cooked beef, after adjusting to a constant tenderness. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 44, 645-652.
- Tume, R.K., 2004. The effects of environmental factors on fatty acid composition and the assessment of marbling in beef cattle: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 44, 663-668.
- Valous, N.A., Zheng, L., Sun, D.W., and Tan, J., 2016. Quality evaluation of meat cuts. In *Computer vision technology for food quality evaluation (2nd Edition)*. Editor Da-Wen Sun. Woodhead Publishing, California, USA. 175–193.
- Xiong, Z., Sun, D., Zeng, X., Xie, A., 2014. Recent developments of hyperspectral imaging systems and their applications in detecting quality attributes of red meats : A review. *Journal of Food Engineering* 132, 1–13.

- Wathes, C.M., Buller, H., Maggs, H., Campbell, M.L., 2013. Livestock production in the UK in the 21st Century: A Perfect Storm Averted? *Animal* 3, 574-583.
- Wood, J.D., Enser, M., Fisher, A.V., Nute, G.R., Sheard, P.R., Richardson, R.I., Hughes, S.I., Whittington, F.M., 2008. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science* 78, 343-358.
- Yang, X.J., Albrecht, E., Ender, K., Zhao, R.Q., Wegner, J., 2006. Computer image analysis of intramuscular adipocytes and marbling in the longissimus muscle of cattle. *Journal of Animal Science* 84, 3251-3258.
- Zapotoczny, P., Kozera, W., Karpiesiuk, K., Pawlowski, R., 2014. The use of computer-assisted image analysis in the evaluation of the effect of management systems on changes in the color, chemical composition and texture of *M. longissimus dorsi* in pigs. *Meat Science* 97, 518-528.

Utilização de análise de imagem para estimar a gordura intramuscular e as características físico-químicas da carne

Resumo- A gordura intramuscular (do inglês *intramuscular fat* - IMF) desempenha um papel importante na qualidade da carne de bovino. Propõe-se, no presente estudo, estimar a IMF e as características físico-químicas da carne com a utilização da análise de imagem de fotografias obtidas em amostras do músculo *longissimus thoracis et lumborum* (LTL). Cento e seis peças do músculo LTL de bovinos mestiços foram utilizados. Fotos de amostras do músculo LTL foram feitas usando uma câmara Olympus EM-5 com sensor de 16 megapixel. Todas as amostras do músculo LTL foram colocados sobre um fundo preto antirreflexo. Na análise de imagem foram determinadas 19 variáveis relacionadas com a IMF. Posterior às análises de imagem, foram determinadas as características físico-químicas da carne como a mioglobina, capacidade de retenção de água, comprimento dos sarcômeros, força de corte (WBSF), colagénio total, parâmetros de cor, pH final e a IMF. Coeficientes de correlação e de determinação foram estabelecidos entre as variáveis obtidas por análise de imagem e as características físico-químicas da carne bem como com a IMF. Uma grande variação foi encontrada para as variáveis associadas às partículas de IMF obtidas por análise de imagem com CV entre 20,1 - 60,2%. Nenhuma das características físico-químicas da carne tiveram qualquer correlação significativa com as variáveis resultantes da análise de imagem à exceção da IMF e WBSF. Com a IMF obtida por imagem e as características físico-químicas da carne foi possível explicar a IMF e a WBSF em 92% (DPR= 0,45; P< 0,001) e 82% (DRP= 0,63; P<0,001), respetivamente. Este resultado incentiva o uso de análise de imagem para estimar a IMF, no entanto, mais pesquisas são necessárias para fazer uma relação completa entre a análise de imagem e as características físico-químicas da carne.

8.1. Introdução

Atualmente há uma crescente procura por carne de qualidade, que seja segura e produzida de acordo com sistemas sustentáveis (Verbeke *et al.*, 2010). A gordura intramuscular (do inglês *intramuscular fat* - IMF) é um dos atributos mais importantes quando falamos sobre qualidade (Huang *et al.*, 2016) e está estreitamente relacionada com algumas características físico-químicas da carne. É reconhecido que a gordura intramuscular – que se refere à gordura química do músculo – ou o marmoreado – que se refere à aparência como se distribui a gordura no músculo – influenciam a qualidade da carne (Thompson, 2004; Gao e Zhao, 2009). De facto, a IMF favorece algumas características sensoriais como a suculência, o sabor e o flavor, atributos valorizados pelos consumidores (Wood *et al.*, 2008; Huang *et al.*, 2014). Em carnes de bovinos, os níveis de IMF ou marmoreado estão associados com maior sabor, maciez e suculência, e isto aumenta a aceitação do consumidor (Corbin *et al.*, 2015; Okumura *et al.*, 2007). Também em suínos, carnes com maiores quantidades de IMF são geralmente consideradas mais atrativas, o que se relaciona com melhor qualidade (Fernandez *et al.*, 1999; Font-i-Furnols *et al.*, 2012; Huang *et al.*, 2016). Embora haja um sentido concordante de que a IMF é favorável para a qualidade, o mercado de carne de bovinos da União Europeia geralmente tem valores de IMF inferiores a 2% (Aass *et al.*, 2009), sendo a satisfação dos consumidores obtida com valores mais elevados, entre 3 e 4% como um limite mínimo (NRC, 1988). Este valor é, no entanto, muito variável conforme o País (Silva *et al.*, 2015). A identificação do valor de IMF da carne representa um objetivo para a indústria e para o consumidor. É no sentido de obter uma boa informação sobre a IMF que aparece a necessidade de utilizar técnicas não destrutivas para avaliar o nível de IMF da carne, assunto este que tem sido bastante investigado nos últimos anos (Faucitano *et al.*, 2005; Yang *et al.*, 2006; Albrecht *et al.*, 2006; Nakahashi *et al.*, 2008; Peña *et al.*, 2013), uma vez que o método tradicional para quantificar a gordura da carne traz algumas desvantagens por ser um processo destrutivo, demorado e que não fornece informações sobre o tamanho das partículas de gordura e a sua distribuição espacial, além de ser custoso (Du *et al.*, 2008; Indurain *et al.*, 2009). Um sistema não-destrutivo e eficiente para determinar a IMF é uma necessidade urgente (Huang *et al.*, 2014). Segundo Faucitano *et al.* (2005), os recentes avanços da tecnologia têm permitido que as técnicas de processamento de imagem sejam eficazes para estimar a IMF. As técnicas de análise de imagem têm mostrado promissores resultados para a estimativa da IMF (Du *et al.*, 2008), tendo sido usadas não só para avaliar o tamanho, o formato e a distribuição tanto nos depósitos de gordura como no

músculo, mas também para se determinar a quantidade total de gordura, número e tamanho das partículas de gordura (Kuchida *et al.*, 2000; Ferguson 2004; Albrecht *et al.*, 2006; Peña *et al.*, 2013).

Para incluir informações sobre a IMF num sistema de valorização diferenciado da carne é necessário um método simples, não-destrutivo e barato que a identifique. Neste sentido, tem sido desenvolvidos sistemas de análise de imagem para avaliar a IMF (Indurain *et al.*, 2009) mas, poucos utilizam amostras com reduzido nível de IMF. No caso da avaliação de IMF em carnes magras (IMF < 2%), a tarefa de determinar a IMF por análise de imagem torna-se desafiadora quer em exames *in vivo* quer nem uma linha de abate (Aass *et al.*, 2009). Deste modo é objetivo deste trabalho estimar a IMF e as características físico-químicas da carne com a utilização de análise de imagem de fotografias obtidas em amostras do músculo *longissimus thoracis et lumborum*.

8.2. Material e Métodos

8.2.1. Preparação das amostras

Foram utilizadas peças do músculo *longissimus thoracis et lumborum* (LTL) de 106 novilhas cruzadas, com 347±31kg de peso vivo. Todos os animais foram abatidos num matadouro comercial de acordo com as normas europeias de bem-estar animal. As 106 peças da região lombar compreendiam a 4^a a 6^a vértebras lombares. Estas peças foram levadas para o laboratório, identificadas e colocadas 5 dias em maturação numa câmara de refrigeração a 4°C após a obtenção das imagens.

8.2.2. Obtenção de imagens

Cada peça da região lombar foi cortada com 3 cm de espessura e colocadas sobre um fundo preto opaco e não refletor, de modo a minimizar a luz do fundo. Em todas as peças foram colocadas uma escala numérica e a sua respectiva identificação. As fotografias foram feitas utilizando uma câmara fotográfica Olympus E-M5 com sensor de 16 Megapixel. A câmara foi equipada com uma lente M. Zuiko ED 12-50mm F3.5-6.3 EZ de 24 mm e com uma abertura f8 com um filtro polarizador circular para anular o efeito de distorção de brilho das peças.

A câmara foi montada num suporte e mantida a uma distância de 40 cm da peça, garantindo assim a qualidade de contrastes entre a gordura intramuscular e os feixes de fibras musculares (Peña *et al.*, 2013). Para a iluminação foi utilizado um flash duplo Macro Olympus OM T28 com filtros polarizadores em ambas as cabeças. Todo o procedimento foi desenvolvido com luz artificial padrão e mantendo a câmara numa posição constante. Todas as fotografias foram gravadas como RAW data e em JPEG. A aquisição das imagens foi feita apenas por um operador.

8.2.3. Análise das imagens

Para avaliar as características da gordura intramuscular das amostras do músculo LTL foi utilizado o software ImageJ (<http://rsb.info.nih.gov/ij/>). A determinação das características da IMF foi realizada em vários passos. No primeiro passo é isolada a área do músculo LTL a ser analisada (Figura 8.1a), no segundo passo a imagem é transformada numa imagem em 8 bits (Figura 8.1b), no passo seguinte é aplicado um *threshold* que está associado ao nível de cinzento característico da IMF (Figura 8.1c) finalmente, no quarto passo é feita a análise das partículas com a obtenção de medidas e contagens das partículas de IMF (Figura 8.1d).

Com base na análise das imagens foram determinadas características como: número de partículas; área total de partículas (mm^2); área média das partículas (mm^2); fração da área (%); perímetro das partículas (mm); maior eixo das partículas (mm); menor eixo das partículas (mm); circularidade; solidez; espessura das partículas (mm); espessura mínima das partículas (mm); espessura máxima das partículas (mm); área mínima das partículas (mm^2); área máxima das partículas (mm^2) e a relação área das partículas/área do músculo LTL (%). Para além destas características, também foram determinadas medidas no músculo como: perímetro do LTL (mm); espessura do LTL; área do LTL e desvio padrão da área do LTL.

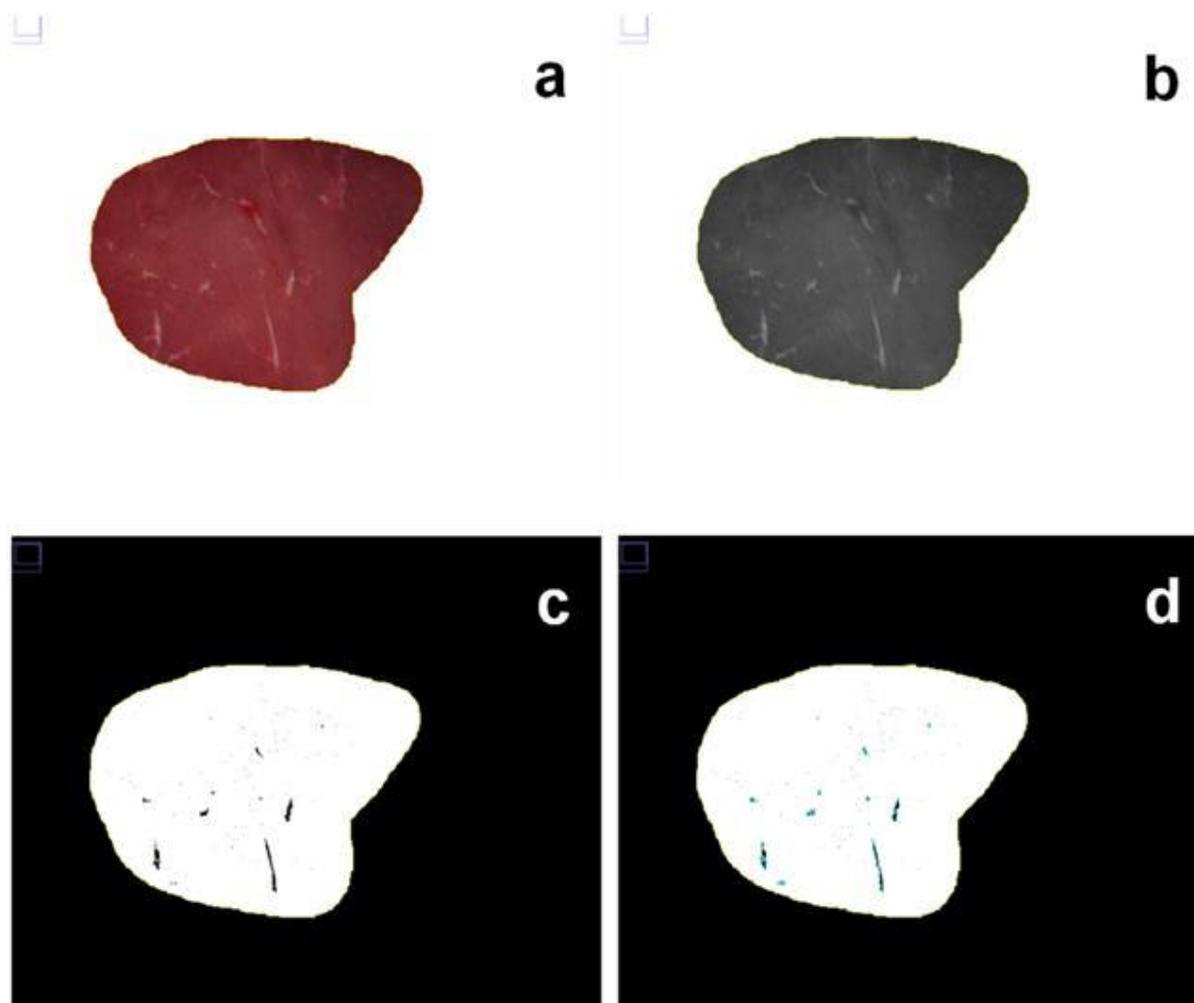


Figura 8.1. Análise das partículas de IMF utilizando o programa ImageJ. a- segmentação do músculo LTL; b - transformação numa imagem de 8 bits; c - imagem após a aplicação padrão do nível de cinzento associado à IMF e d - extração dos dados resultantes da análise das partículas de IMF.

8.2.4. Características físico-químicas da carne

Depois da captura das imagens para a determinação das características das partículas de IMF foram determinadas as características físico-químicas da carne, nomeadamente a mioglobina, capacidade de retenção de água, o comprimento dos sarcómeros, a força de corte (do inglês *Warner-Bratzler shear force* -WBSF), o colagénio total, os parâmetros de cor, o pH final e a determinação da gordura.

8.2.4.1 Mioglobina

Para determinação da mioglobina foi utilizado o método descrito por Wierbicki *et al.* (1955), tendo sido posteriormente modificado por Bocard *et al.* (1981), onde os pigmentos totais são doseados como cianometamioglobina. Foram utilizadas 5,0 g em duplicado de cada amostra de músculo picado congelado (n= 55), tendo sido adicionado 40 ml de água destilada. Posteriormente, as amostras foram homogeneizadas a velocidade rápida durante 30 segundos com o Ultra-Turrax T25B (Kika Labortechnik, Staufen, Alemanha). Foi verificado o pH de cada uma das amostras, tendo sido feita acidificação com HCl 0,1 M para as amostras com pH superior a 6,0. O homogeneizado foi filtrado em papel de porosidade média. Foram transferidos 25 ml do filtrado para tubo de ensaio, sendo importante que o filtrado se apresentasse perfeitamente translúcido e com coloração vermelha. Foi preparado um tubo de ensaio com igual quantidade de água destilada para o ensaio em branco. Adicionou-se 0,1 ml de solução de ferrocianato de potássio a 2,5% ($K_3Fe(CN)_6$) a cada um dos tubos. Após homogeneização, adicionou-se 0,1 ml de solução de cianeto de potássio 5% (KCN) a cada um dos tubos, devendo a solução adquirir a cor vermelha devido à formação de cianometamioglobina. Procedeu-se à medição da absorvância a 540 nm em célula de 1 cm de percurso óptico num espectrofotômetro Jasco V-530 UV/VIS (JASCO Corporation, Tokyo, Japão). A concentração de mioglobina no produto fresco (mg/g) foi obtida, multiplicando a absorvância corrigida por 14,56.

8.2.4.2. Capacidade de retenção de água

Foram pesadas entre 70-100 g de carne de cada amostra para a determinação da capacidade de retenção de água (CRA), que foi avaliada pelo método das perdas por cocção 120 h *post-mortem* (n= 106). Foi colocada uma sonda Digi-Sense Thermocouple Scanning Thermometer (Cole Parmer, Niles, IL, E.U.A.) no centro térmico de cada bloco de carne e em seguida, as amostras foram colocadas em sacos fechados e colocadas em banho-maria Digiterm 100 (J.P. Selecta, Barcelona, Espanha) a 75°C, até que a temperatura interna de 70°C fosse atingida. O peso final foi obtido após a lavagem das amostras em água corrente, quando atingiram temperatura interna de 15°C, tendo sido a perda por cocção determinada conforme Honikel (1987), pela diferença entre o peso inicial (PI) e o peso final (PF).

$$\text{Perdas de água por cocção(\%)} = \frac{\text{PI} - \text{PF}}{\text{PI}} * 100$$

Estas amostras foram posteriormente embaladas e armazenadas a 4°C para serem utilizadas na determinação da força de corte.

8.2.4.3. Sarcómero

As análises para determinação do comprimento dos sarcómeros foram efetuadas 120 h *post-mortem* (n= 55) e para sua determinação seguiu-se o método descrito por Cross *et al.* (1981). Com o auxílio de um bisturi, foram cortadas pequenas porções de aproximadamente 2g do músculo LTL. Em seguida, foram adicionadas a estas porções 30 ml de solução fria de sacarose (0,25 M), tendo sido posteriormente homogeneizadas a velocidade lenta durante 60 segundos com o Ultra-Turrax T25B (Kika Labortechnik, Staufen, Alemanha). Uma gota do homogeneizado foi colocado sobre uma lâmina e depois de coberta com uma lamela foi feita sua observação em um microscópio óptico Nikon Labophot-2 em fase 1, com a objectiva de 40X com câmara acoplada. Foi medido o comprimento de 10 sarcómeros consecutivos, tendo sido feita a medição de 15 grupos de 10 sarcómeros por amostra, com recurso ao software de análise de imagem Matrox Inspector 4.1 (Matrox Electronic Systems Ltd., Dorval, Canadá), onde, posteriormente, foi determinado o comprimento médio dos sarcómeros de cada amostra.

8.2.4.4. Warner-Bratzler força de corte

As amostras de carne resultantes da determinação do CRA foram retiradas do frigorífico e colocadas à temperatura ambiente para que a temperatura ficasse equilibrada (n= 106). Foram cortadas 10 sub-amostras de carne em forma de paralelepípedo com 1cm² de lado e aproximadamente 3-5 cm de comprimento, tendo sido o corte feito de modo a que as fibras musculares estivessem paralelas ao lado maior do paralelepípedo. As sub-amostras foram posicionadas na bandeja do Texturómetro Stevens QTS25 com sonda Warner-Bratzler (Stevens Advanced Weighing Systems Ltd., Great Dunmow, Inglaterra), com as fibras dispostas perpendicularmente em direcção da lâmina, tendo a sonda sido utilizada à velocidade de 100 mmmin⁻¹, onde seus valores médios foram obtidos com as sub-amostras das fibras musculares dispostas perpendicularmente em direcção da sonda.

8.2.4.5. Colagénio total

Foram obtidas duas sub-amostras de, aproximadamente, 4g de cada amostra congelada. Estas sub-amostras foram picadas e colocadas separadamente em um frasco que continha 30ml de ácido sulfúrico 7N. Em seguida os frascos foram colocados em estufa a 105°C durante 16 horas. O hidrolisado quente resultante foi transferido para balões volumétricos de 200 ml, tendo sido os frascos lavados com água destilada e os balões preenchidos. Após homogeneização, o conteúdo dos balões foi filtrado em papel de filtro Whatman nº4, até atingir o volume de 100 ml e guardado a uma temperatura de, aproximadamente, 4°C. O filtrado anterior foi pipetado e diluído em água destilada em balões de 100 ml, de forma que a concentração de L-hidroxirolina na diluição final se situasse entre 0,6 e 2,4 µg/ml. A 2 ml da diluição final adicionou-se 1 ml de solução oxidante de cloramina T, homogeneizou-se e deixou-se repousar durante 20 minutos à temperatura ambiente. Foi adicionado 1 ml de reagente colorimétrico e homogeneizou-se, tendo sido 25 ml preparado com a diluição de 2,5 g de 4-dimetilaminobenzaldeído em 8,75 ml de ácido perclórico 60% aos quais foi adicionado, lentamente com agitação, 16,25 ml de 2-propanol. Os tubos de ensaio tapados foram colocados rapidamente em banho-maria Digiterm 100 (J.P. Selecta, Barcelona, Espanha) a 60°C durante 15 minutos. Posteriormente foram arrefecidos em água corrente, durante pelo menos 3 minutos. A absorvância foi medida a 558 nm contra um ensaio em branco em célula de 1 cm de percurso óptico num espectrofotómetro Jasco V-530 UV/VIS (JASCO Corporation, Tokyo, Japão). Foi também medida a absorvância de soluções de L-hidroxirolina a 0,6, 1,2, 1,4 e 2,4 µg/ml, de modo a construir a curva padrão de cada ensaio.

Para a preparação das soluções de L-hidroxirolina foi inicialmente preparada uma solução intermédia de L-hidroxirolina com 6 µg/ml, tendo-se pipetado 5 ml da solução stock de L-hidroxirolina (600 µg/ml) para um balão de 500 ml completando o restante do volume com água destilada. A partir desta solução foram preparadas as soluções com as 4 concentrações diferentes de L-hidroxirolina (0,6; 1,2; 1,4 e 2,4 µg/ml). Após a obtenção da curva padrão, foi calculada a concentração de L-hidroxirolina (µg/ml) de cada amostra, utilizando a absorvância corrigida. Seguindo a metodologia proposta por Cross *et al.* (1973), a concentração de colagénio total nas sub-amostras foi obtida multiplicando a concentração de L-hidroxirolina pelo factor 7,25.

8.2.4.6. Cor

Os parâmetros de cor foram avaliados por um colorímetro Minolta CR-10 (8 mm de abertura). Neste sistema, os parâmetros L^* , a^* , e b^* representam as medidas de luminosidade, índice de vermelho e índice de amarelo, respetivamente, medidos de forma aleatória em três posições no músculo LTL (n= 106).

8.2.4.7. pH

Foram realizadas três leituras diretamente no músculo LTL de cada peça, utilizando um eléctrodo de perfuração acoplado a um medidor de pH Hanna HI 9025 (Hanna Instruments, Woonsocket, RI, E.U.A.). As medições de pH foram efetuadas quando se colocou a peça em maturação 24 horas após o abate (n= 106).

8.2.4.8. IMF

Para a determinação da percentagem de gordura química do LTL foi selecionado uma parte de cada peça com o cuidado de não incluir gordura subcutânea (n= 106). Posteriormente, as amostras foram moídas até se obter uma mistura homogénea. Desta mistura foi realizada a análise de gordura por extração em éter (Tecator Soxtec HT 1043, Höganäs, Suécia), de acordo com o procedimento descrito por Tecator (ASTN, 1998).

8.2.5. Análise estatística

Foi realizada uma análise descritiva para determinação da média, desvio padrão (dp), mínimo, máximo e coeficiente de variação (CV) para as características da carne e análise de imagem. Foram estabelecidas correlações entre os parâmetros resultantes da análise das imagens e as características da carne. A relação entre as características da carne e as medidas de IMF obtidas por análise de imagem foi determinada por análise de regressão múltipla utilizando o procedimento *Stepwise*. O coeficiente de determinação (R^2) e o desvio padrão residual (DPR) foram utilizados para avaliar a capacidade de predição das equações. Todas as análises estatísticas foram realizadas recorrendo ao programa JMP versão 5.0.1.2 (SAS Institute, Cary, NC, E.U.A.).

8.3. Resultados e Discussão

Foi observada uma grande variação para as variáveis associadas às partículas de IMF obtidas por análise de imagem e para as medidas do músculo LTL, com CV entre 20,11-60,16% e 14,07-56,88%, respectivamente (Quadro 8.1). Há uma grande variação quer na área mínima das partículas de IMF (CV= 55,75%) quer na sua área máxima (CV= 60,16%).

Quadro 8.1. Médias, desvio padrão (dp), mínimo (Mín), máximo (Máx) e coeficiente de variação para as medidas obtidas com análise de imagem.

	Descrição	Média	dp	Mín	Máxi	CV
Count	Número de partículas	36,198	13,206	10,00	62,00	36,48
Total area fleck	Área total de partículas; mm ²	103,013	53,454	15,03	264,27	51,89
Average size fleck	Área média das partículas; mm ²	2,916	1,231	0,88	6,52	42,22
Areafraction	Fração da área; %	2,981	1,156	1,08	5,73	38,78
Perim fleck	Perímetro das partículas; mm	7,882	1,913	3,73	13,31	24,27
Maior	Maior eixo das partículas, mm	2,935	1,182	0,77	6,47	40,27
Minor	Menor eixo das partículas; mm	2,047	0,583	0,94	3,75	28,48
Circ	Circularidade	0,746	0,150	0,39	0,99	20,11
Solidity	Solidez	0,972	0,436	0,55	1,90	44,86
Feret	Espessura das partículas; mm	2,971	0,699	1,36	4,65	23,53
Mínferet	Espessura mínima das partículas; mm	1,286	0,444	0,58	2,18	34,53
MaxFeret	Espessura máxima das partículas; mm	10,972	4,906	2,42	21,96	44,71
MinArea	Área mínima das partículas; mm ²	0,843	0,470	0,20	1,47	55,75
MaxArea	Área máxima das partículas; mm ²	11,765	7,078	1,27	34,38	60,16
AreaFleck/AreaLM%	IMF VIA, %	2,073	0,921	0,35	3,63	44,43
Músculo						
PerimeterLTL	Perímetro do LTL; mm	333,94	46,988	189,12	494,65	14,07
FeretLTL	Espessura do LTL; mm	128,434	15,031	72,63	169,28	11,70
AreaLTL	Área do LTL; mm ²	5742,449	977,023	2168,20	7595,03	17,01
sdarea	Desvio padrão da área do LTL	3,117	1,773	0,24	8,80	56,88

No Quadro 8.2 apresentam-se a média, o desvio padrão, o mínimo, o máximo e coeficiente de variação, para características físico-químicas da carne. Para a percentagem de gordura química o coeficiente de variação foi de 51,28%. Estes resultados mostram que apesar de todas as amostras estudadas apresentarem um valor reduzido de IMF (3,09%) há uma grande variação tanto no número de partículas de IMF (CV=36,48%) como na área total de partículas (CV=51,89%) (Quadro 8.1).

Quadro 8.2. Médias, desvio padrão (dp), mínimo (Mín), máximo (Máx) e coeficiente de variação para a IMF e para as características físico-químicas da carne.

Variável	n	Média	dp	Mín	Máx	CV
IMF %	106	3,093	1,586	0,71	8,92	51,28
Mioglobina (mg/g)	55	1,780	0,463	0,82	2,89	26,01
CRA (%)	106	32,246	9,863	16,02	68,00	30,59
Sarcómero (mm)	55	0,904	0,160	0,53	1,27	17,70
WBF(kg/cm ²)	106	7,568	1,504	4,63	12,67	19,87
Colágeno Total (mg/g)	55	4,298	1,637	2,37	9,32	38,09
L*	106	38,801	3,376	29,13	49,2	8,70
a*	106	12,673	2,275	8,40	18,93	17,95
b*	106	8,515	1,061	6,10	10,90	12,46
pH	106	5,763	0,224	5,53	6,50	3,89

O nível de preferência de gordura intramuscular varia entre os países e cada um define a sua percentagem de gordura no músculo. No Japão por exemplo, a distribuição regular das partículas de IMF no músculo e um alto teor de IMF (acima de 20%) são bem aceites (Gotoh *et al.*, 2009). Noutros países, embora exista uma grande variação, os valores de 3 a 4% de IMF no músculo LTL são considerados como o valor mínimo a atingir (NRC, 1988). Font-i-Furnols *et al.* (2012), em um estudo avaliando a aceitação visual da carne de porco por consumidores espanhóis, verificaram que quantidade de gordura intramuscular afeta a decisão de compra e que, segundo as pontuações de aceitabilidade, os consumidores preferem lombos com níveis mais elevados de gordura intramuscular, concluindo que entre 2,2% e 3,4% de IMF é o teor mínimo recomendado para manter o sabor da carne.

Relativamente às características físico-químicas e a quantidade de IMF Thompson (2004), afirma que quanto mais gordura intramuscular presente na carne, maior a sensação de suculência na boca. De acordo com este autor, a lubrificação no momento da mastigação está relacionada aos níveis elevados de gordura que estimulam a salivação, fazendo com que a percepção de suculência aumente. De facto, Cannata *et al.* (2010), ao estudarem as propriedades do lombo de suínos, verificaram maior suculência e maciez quando a quantidade de marmoreado foi igual ou superior a 2,5%.

No que diz respeito as características físico-químicas da carne como por exemplo sarcómero e colágeno total, as médias encontradas por Starkey *et al.* (2016) foram superiores as obtidas neste trabalho. De fato, ao avaliar o efeito do comprimento do sarcómero e o colágeno total, além de outras características em três músculos diferentes de cordeiros, entre

eles o *longissimus thoracis et lumborum*, estes autores encontraram valores médios de 1,8 para o comprimento do sarcômero, com variação de 1,40–2,16 e 13,0 para o colagénio ($P < 0,001$).

Mao *et al.* (2016), ao compararem as características físico-químicas com a qualidade da carne de bovinos com diferentes níveis de IMF (elevados e baixos), encontraram média superior a obtida no presente trabalho para WBSF e inferior para a capacidade de retenção de água com 41,7 N e 14,2%, respetivamente para as carnes com níveis baixos de IMF.

Os coeficientes de correlação entre as medidas de análise de imagem e as características físico-químicas da carne são apresentados no Quadro 8.3. Nenhuma das características físico-químicas da carne tiveram qualquer correlação significativamente forte com as variáveis resultantes da análise de imagem à exceção da IMF, com correlações positivas e a WBSF com correlações negativas.

Quadro 8.3. Correlações entre as variáveis resultantes da análise das imagens e a IMF e as características físico-químicas da carne.

	Descrição	IMF %	Mioglobina (mg/g)	CRA (%)	Sarcómero (µm)	WBSF (kg/cm2)	ConcColT (mg/g)	L*	a*	b*	pH
Count	Número de partículas	0,537**	0,216 ns	0,183 ns	0,291*	-0,465**	0,138 ns	-0,036 ns	0,164 ns	0,182 ns	-0,015 ns
Total area fleck	Área total de partículas; mm ²	0,896**	0,124 ns	0,150 ns	0,412**	-0,761**	-0,088 ns	0,102 ns	0,392**	0,361**	-0,284**
Average size fleck	Área média das partículas; mm ²	0,755**	0,061 ns	0,123 ns	0,392**	-0,727**	-0,315*	0,196 ns	0,448**	0,440**	-0,316**
Areafraction	Fração da área; %	0,933**	-0,006 ns	0,201*	0,349**	-0,877**	-0,346*	0,251**	0,274**	0,422**	-0,374**
Perim fleck	Perímetro das partículas; mm	0,385**	0,139 ns	0,177 ns	0,446**	-0,412**	-0,005 ns	0,006 ns	0,084 ns	0,193 ns	0,076 ns
Maior	Maior eixo das partículas; mm	0,854**	0,113 ns	0,239*	0,490**	-0,746**	-0,159 ns	0,089 ns	0,312**	0,369**	-0,157 ns
Minor	Menor eixo das partículas; mm	0,768**	-0,227 ns	0,330**	0,012 ns	-0,707**	-0,595**	0,441**	0,145 ns	0,405**	-0,406**
Circ	Circularidade	0,375**	-0,437**	0,399**	-0,485**	-0,314**	-0,584**	0,376**	0,037 ns	0,141 ns	-0,326**
Solidity	Solidez	0,771**	0,105 ns	0,122 ns	0,383**	-0,620**	-0,262*	0,211*	0,317**	0,362**	-0,262**
Feret	Espessura das partículas; mm	0,574**	0,183 ns	0,237*	0,510**	-0,562**	-0,071 ns	0,022 ns	0,197*	0,251**	-0,031 ns
Minferet	Espessura mínima das partículas; mm	0,722**	0,084 ns	0,133 ns	0,435**	-0,631**	-0,218 ns	0,200*	0,199*	0,333**	-0,193 ns
MaxFeret	Espessura máxima das partículas; mm	0,821**	0,174 ns	0,260**	0,351**	-0,748**	-0,204 ns	0,109 ns	0,342**	0,363**	-0,263**
MinArea	Área mínima das partículas; mm ²	0,555**	0,354**	-0,094 ns	0,626**	-0,413**	0,122 ns	-0,070 ns	0,309**	0,194 ns	-0,034 ns
MaxArea	Área máxima das partículas; mm ²	0,733**	0,050 ns	0,262**	0,200 ns	-0,682**	-0,186 ns	0,217*	0,210*	0,357**	-0,233*
AreaFleck/AreaLM % Músculo	IMF VIA, %	0,865**	0,203 ns	0,215*	0,444**	-0,823**	-0,164 ns	0,146 ns	0,307**	0,394**	-0,241*
PerimeterLTL	Perímetro do músculo LTL; mm	-0,290**	0,372*	-0,189 ns	-0,007 ns	0,350**	0,353**	-0,225*	0,088 ns	0,034 ns	0,280**
FeretLTL	Espessura do músculo LTL; mm ²	-0,221*	0,421**	-0,106 ns	0,083 ns	0,257**	0,237 ns	-0,196 ns	0,206*	0,125 ns	0,274**
AreaLTL	Área do músculo LTL; mm ²	-0,076 ns	0,386**	-0,198*	0,055 ns	0,188 ns	0,395**	-0,231*	0,181*	0,014 ns	0,374**
sdarea	Desvio padrão da área do músculo LTL	0,709**	0,042 ns	0,214*	0,247*	-0,641**	-0,174 ns	0,229*	0,204*	0,344**	-0,184 ns

ns= não significativo.

* Correlações significativas com P<0,05.

** Correlações significativas com P<0,01.

Para mioglobina, sarcómero e colagénio n= 55. Para IMF, CRA, WBF, ConcColT, L*, a*, b* e pH, n= 106.

IMF= intramuscular fat, CRA= capacidade de retenção de água, WBSF= Warner-Bratzler, ConcColT= colagénio total.

Estudar a IMF permite conhecer características importantes que estão estreitamente correlacionadas com a qualidade da carne, como por exemplo, suculência e ternura. Como era esperado, a relação entre as variáveis resultantes da análise de imagem e a IMF foi significativa, à exceção do perímetro das partículas e circularidade. De um modo geral, as correlações entre as diversas medidas das partículas de gordura e a IMF apresentaram valores muito diversos (r entre 0,375 a 0,933; $n=106$; $P<0,01$) não sendo possível estabelecer um padrão. Os valores mais elevados de correlação observados entre a IMF e as medidas das partículas foram observados com a fração da área ($r=0,933$; $P <0,01$), com a área total das partículas ($r=0,896$; $P <0,01$) e com a relação área da partícula/área do músculo LTL ($r=0,865$; $P<0,01$). Estes resultados vão de encontro ao observado por Faucitano *et al.*, (2005), que num trabalho com suínos verificaram que a análise de imagem permite avaliar a IMF.

Correlações positivas entre o marmoreado determinado pelo sistema de avaliação USDA (*United States Department of Agriculture*) e a gordura intramuscular determinada por análise de imagem foram relatados por Peña *et al.* (2013), ao estudarem a distribuição espacial da IMF e as características das partículas de gordura em amostras de carne do LTL de três raças de bovinos ($r= 0,183-0,465$).

Cada uma das variáveis obtidas por análise de imagem foi negativamente associada a WBSF (Quadro 8.3). A WBSF mostrou estar correlacionada negativamente e de modo significativo com a relação área das partículas/área do músculo LTL ($r= -0,823$; $P<0,01$) e com a fração da área ($r= -0,877$; $P<0,01$). A fim de investigar o conteúdo da IMF, WBSF e os atributos sensoriais de 25 bovinos chineses em diferentes graus de qualidade Liang *et al.* (2016), verificaram que a WBSF diminuiu de 50,6 N para 33,1 N com o aumento da percentagem da IMF de 4,26 para 24,55 ($P<0,05$). Ao determinar as relações entre as características bioquímicas e a palatabilidade em 11 músculos diferentes de bovinos cruzados, Rhee *et al.* (2004) encontraram uma correlação negativa forte ($r= -0,73$) entre a WBSF e a IMF dos 11 músculos.

As outras características da carne, tais como, o sarcómero e o colagénio, tiveram algumas correlações moderadas e significativas. As correlações entre as medidas das partículas de gordura e o sarcómero apresentaram valores muito diversos, tendo sido encontrado uma correlação moderada entre o sarcómero e a área mínima das partículas ($r=0,626$; $P <0,01$) entretanto, o colagénio foi correlacionado negativamente com o menor eixo das partículas ($r=-0,595$; $P< 0,01$). De acordo com Hopkins *et al.* (2011), o comprimento do sarcómero tem influencia sobre a maciez da carne.

De modo geral, as correlações entre as medidas obtidas no músculo, a IMF e as características físico-químicas da carne apresentaram correlações de fracas a moderadas, com exceção da IMF, que apresentou correlação forte com desvio padrão da área do LTL ($r=0,709$; $P<0,01$).

As equações de regressão múltipla para estimar IMF e as características físico-químicas da carne são apresentadas no Quadro 8.4. À exceção de algumas características físico-químicas como mioglobina, perda por cocção, colagénio, sarcómero, parâmetros de cor e pH, verificou-se coeficientes de determinação altos para a IMF e WBSF com 0,923 e 0,829 respetivamente.

Quadro 8.4. Regressões múltiplas para a estimativa da IMF e das características físico-químicas da carne com a análise de imagem.

Variável dependente	Termo cst.	Variável independente		R ²	DPR	P
IMF (%)	-0,838	areafraction	0,669	0,923	0,452	<,0001
		maior	0,851			
		Circ	2,320			
		feret	-0,664			
		AreaLM	-0,00011			
		sdarea	0,107			
Mioglobina (mg/g)	0,969	areafraction	-0,269	0,508	0,337	<,0001
		Circ	-2,128			
		FeretLM	0,012			
		AreaFleck/AreaLM%	0,609			
CRA (%)	17,733	total area fleck	-0,098	0,421	7,651	<,0001
		Circ	25,543			
		MaxFeret	1,397			
		AreaLM	-0,002			
Sarcómero (µm)	0,746	Circ	-0,684	0,694	0,093	<,0001
		feret	0,099			
		AreaLM	-0,00004			
		MinArea	0,443			
WBSF (kg/cm ²)	11,545	areafraction	-0,771	0,829	0,631	<,0001
		perim fleck	-0,111			
		AreaFleck/AreaLM%	-0,389			
ConcColT (mg/g)	8,000	minor	-4,107	0,587	1,072	<,0001
		MinArea	3,201			

(Continua)

Quadro 8.4. Continuação.

Variável dependente	Terme cst.	Variável independente		R2	DPR	P
L*	36,301	minor	3,491	0,454	2,530	<,0001
		feret	-0,734			
		MinArea	-2,924			
a*	7,127	total area fleck	0,023	0,267	1,976	<,0001
		feret	-1,015			
		FeretLM	0,030			
b*	7,753	areafraction	0,256	0,077	1,024	0,0039
pH	5,984	areafraction	-0,091	0,423	0,173	<,0001
		perim fleck	0,054			
		Circ	-0,505			

areafraction= Fração da área (%); maior = Maior eixo das partículas (mm); Circ= circularidade; feret= Espessura das partículas (mm); AreaLM= Área do músculo LTL (mm²); sdarea= Desvio padrão da área do músculo LTL; feretLM= Espessura do músculo LTL (mm²); areaFleck/AreaLM%= VIA IMF (%); total área fleck=Área total de partículas (mm²); Maxferet= Espessura máxima das partículas (mm); MinArea= Área mínima das partículas (mm²); perim fleck= Perímetro das partículas (mm); minor= Menor eixo das partículas (mm).

Com a análise de regressão passo a passo (*Stepwise*) foi encontrada uma equação que incluía seis variáveis resultantes da análise de imagem, sendo quatro relacionadas às medias das partículas e duas relativas ao músculo LTL, tendo sido a variável fração da área a medida que permitiu explicar 92% da variação da gordura intramuscular presente no LTL (P<0001). Estes resultados indicam que a análise de imagem é capaz de estimar a IMF com elevada precisão. Em um trabalho sobre as alterações no marmoreado de bovinos de diferentes raças e diferentes meses de idade, Albrecht *et al.* (2006) verificaram que bovinos mais jovens (da raça Galloway) apresentaram maior nível de marmoreado e distribuição regular que os demais (P<0,05). Segundo estes autores (Albrecht *et al.*, 2006), a idade, a raça e a interação idade x raça influencia na quantidade, distribuição e estrutura da IMF (P<0,001).

A variável areafraction (fração da área), assim como para a IMF, foi a primeira variável a entrar no modelo sendo responsável por explicar 82% da variação da WBSF (P<0001). De acordo com Thompson (2004), uma carne com maior quantidade de IMF possui uma densidade mais baixa, exigindo menor resistência à mordida. Também Starkey *et al.* (2016), verificaram que a IMF influencia na variação da força de corte. À medida que os níveis de IMF foram aumentando houve, conseqüentemente, uma redução na força de corte. Estes autores (Starker *et al.*, 2016) afirmam ainda que, para cada aumento de 1% de gordura intramuscular, a força de

corte diminuía 3,9 N. Com estes resultados, é possível observar que a gordura interfere e tem forte relação com a força de corte.

8.4. Conclusão

Estes resultados incentivam o uso de análise de imagem para estimar a IMF, porém, são necessárias pesquisas adicionais para ter uma compreensão mais completa entre a análise de imagem e as características físico-químicas da carne, uma vez que os resultados mostraram que não há relação entre as características físico-químicas da carne e a análise de imagem à exceção gordura intramuscular e força de corte.

8.5. Referências

- Aass, L., Fristedt, C.G., Gresham, J.D., 2009. Ultrasound prediction of intramuscular fat content in lean cattle. *Livestock Science* 125, 177-186.
- Albrecht, E., Teuscher, F., Ender, K., Wegner, J., 2006. Growth- and breed-related changes of marbling characteristics in cattle. *Journal of Animal Science* 84, 1067-1075.
- ASTN. 1988. Total fat extraction in certain food products according to AOAC. Application Short Note, Tecator.
- Boccard, R., Buchter, L., Casteels, E., Cosentino, E., Dransfield, E., Hood, D.E., Joseph, R.L., Macdougall, D.B., Rhodes, D.N., Schon, I., Tinbergen, B.J., Touraille, C., 1981. Procedures for measuring meat quality characteristics in beef-production experiments - report of a working group in the commission-of-the-european-communities (CEC) beef-production research-program. *Livestock Production Science* 8, 385-397.
- Cannata, S., Engle, T.E., Moeller, S.J., Zerby, H.N., Radunz, A.E., Green, M.D., Bass, P.D., Belk, K.E., 2010. Effect of visual marbling on sensory properties and quality traits of pork loin. *Meat Science* 85, 428-434.
- Corbin, C.H., O'Quinn, T.G., Garmyn, A.J., Legako, J.F., Hunt, M.R., Dinh, T.T.N., Rathmann, R.J., Brooks, J.C., Miller, M.F., 2015. Sensory evaluation of tender beef strip loin steaks of varying marbling levels and quality treatments. *Meat Science* 100, 24-31.

- Cross, H.R., Carpenter, Z.L., Smith, G.C., 1973. Effects of intramuscular collagen and elastin on bovine muscle tenderness. *Journal of Food Science* 38, 998-1003.
- Du, C.-J., Sun, D.-W., Jackman, P., Allen, P., 2008. Development of a hybrid image processing algorithm for automatic evaluation of intramuscular fat content in beef *M-longissimus dorsi*. *Meat Science* 80, 1231-1237.
- Faucitano, L., Huff, P., Teuscher, F., Gariépy, C., Wegner, J., 2005. Application of computer image analysis to measure pork marbling characteristics. *Meat Science* 69, 537-543.
- Ferguson, D.M., 2004. Objective on-line assessment of marbling: a brief review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 44, 681-685.
- Fernandez, X., Monin, G., Talmant, A., Mourot, J., Lebret, B., 1999. Influence of intramuscular fat content on the quality of pig meat - 1. Composition of the lipid fraction and sensory characteristics of m. *longissimus lumborum*. *Meat Science* 53, 59-65.
- Font-i-Furnols, M., Tous, N., Esteve-Garcia, E., Gispert, M., 2012. Do all the consumers accept marbling in the same way? The relationship between eating and visual acceptability of pork with different intramuscular fat content. *Meat Science* 91, 448-453.
- Gao, S.-Z., Zhao, S.-M., 2009. Physiology, affecting factors and strategies for control of pig meat intramuscular fat. *Recent patents on food, nutrition & agriculture* 1, 59-74.
- Gotoh, T., Albrecht, E., Teuscher, F., Kawabata, K., Sakashita, K., Iwamoto, H., Wegner, J., 2009. Differences in muscle and fat accretion in Japanese Black and European cattle. *Meat Science* 82, 300-308.
- Hopkins, D.L., Fogarty, N.M., Mortimer, S.I., 2011. Genetic related effects on sheep meat quality. *Small Ruminant Research* 101, 160-172.
- Honikel, K. 1987. How to measure the water holding capacity of meat? Recommendation of standardized methods. Proc. EC seminar on evaluation and control of meat quality in pigs, Dublin, Nov. 1985.
- Huang, H., Liu, L., Ngadi, M.O., Gariépy, C., 2014. Rapid and non-invasive quantification of intramuscular fat content of intact pork cuts. *Talanta* 119, 385-395.

- Huang H., Liu L., Ngadi, M.O., 2016 Assessment of intramuscular fat content of pork using NIR hyperspectral images of rib end. *Journal of Food Engineering* 193, 29-41.
- Indurain, G., Carr, T.R., Goni, M.V., Insausti, K., Beriain, M.J., 2009. The relationship of carcass measurements to carcass composition and intramuscular fat in Spanish beef. *Meat Science* 82, 155-161.
- Kuchida, K., Kono, S., Konishi, K., Van Vleck, L.D., Suzuki, M., Miyoshi, S., 2000. Prediction of crude fat content of longissimus muscle of beef using the ratio of fat area calculated from computer image analysis: Comparison of regression equations for prediction using different input devices at different stations. *Journal of Animal Science* 78, 799-803.
- Liang, R.R., Zhu, H., Mao, Y.W., Zhang, Y.M., Zhu, L.X., Cornforth, D., Wang, R.H., Meng, X.Y., Luo, X., 2016. Tenderness and sensory attributes of the *longissimus lumborum* muscles with different quality grades from Chinese fattened yellow crossbred steers. *Meat Science* 112, 52-57.
- Mao, Y., Hopkins, D.L., Zhang, Y., Li, P., Zhu, L., Dong, P., Liang, R., Dai, J., Wang, X., Luo, X., 2016. Beef quality with different intramuscular fat content and proteomic analysis using isobaric tag for relative and absolute quantitation of differentially expressed proteins. *Meat Science* 118, 96-102.
- Nakahashi, Y., Maruyama, S., Seki, S., Hidaka, S., Kuchida, K., 2008. Relationships between monounsaturated fatty acids of marbling flecks and image analysis traits in *longissimus* muscle for Japanese Black steers. *Journal of Animal Science* 86, 3551-3556.
- National Research Council. 1988. *Designing foods: animal product options in the marketplace*. National Academies Press.
- Okumura, T., Saito, K., Sakuma, H., Nade, T., Nakayama, S., Fujita, K., Kawamura, T., 2007. Intramuscular fat deposition in principal muscles from twenty-four to thirty months of age using identical twins of Japanese Black steers. *Journal of Animal Science* 85, 1902-1907.
- Pena, F., Molina, A., Aviles, C., Juarez, M., Horcada, A., 2013. Marbling in the *longissimus thoracis* muscle from lean cattle breeds. Computer image analysis of fresh versus stained meat samples. *Meat Science* 95, 512-519.

- Rhee, M.S., Wheeler, T.L., Shackelford, S.D., Koohmaraie, M., 2004. Variation in palatability and biochemical traits within and among eleven beef muscles. *Journal of Animal Science* 82, 534-550.
- Silva, S.R., Teixeira, A., Font-i-Furnols, M., 2015. Intramuscular fat and marbling. In: *Handbook of reference methods for the assessment of meat quality parameters*. Ed.: Font-i-Furnols M., Čandek-Potokar M., Maltin C., Prevolnik Povše M.. *Far Animal Imaging*, 12-21.
- Starkey, C.P., Geesink, G.H., Collins, D., Oddy, V.H., Hopkins, D.L., 2016. Do sarcomere length, collagen content, pH, intramuscular fat and desmin degradation explain variation in the tenderness of three ovine muscles? *Meat Science* 113, 51-58.
- Thompson, J.M., 2004. The effects of marbling on flavour and juiciness scores of cooked beef, after adjusting to a constant tenderness. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 44, 645-652.
- Verbeke, W., Van Wezemael, L., de Barcellos, M.D., Kugler, J.O., Hocquette, J.-F., Ueland, O., Grunert, K.G., 2010. European beef consumers' interest in a beef eating-quality guarantee Insights from a qualitative study in four EU countries. *Appetite* 54, 289-296.
- Wierbicki, E., Cahill, V., Kunkle, L., Klosterman, E. Deatherage, F., 1955. Effect of castration on biochemistry and quality of beef. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 3, 244-249.
- Wood, J.D., Enser, M., Fisher, A.V., Nute, G.R., Sheard, P.R., Richardson, R.I., Hughes, S.I., Whittington, F.M., 2008. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: a review. *Meat Science* 78, 343-358.
- Yang, X.J., Albrecht, E., Ender, K., Zhao, R.Q., Wegner, J., 2006. Computer image analysis of intramuscular adipocytes and marbling in the *longissimus* muscle of cattle. *Journal of Animal Science* 84, 3251-3258.

Determinação da cor no espaço CIELab de amostras do músculo *longissimus thoracis et lumborum* de bovinos e suínos através de um sistema visão assistida por computador

Resumo- O julgamento humano da avaliação a cor da carne é subjetivo e pode ser inconsistente. Assim, o objetivo com este trabalho é estudar a relação entre os valores de cor da carne de bovino e suínos no espaço CIELab entre um sistema de visão assistida por computador e colorímetro. Foram utilizadas 89 amostras do músculo *longissimus thoracis et lumborum* (LTL) de bovinos e 110 amostras LTL de suínos. As características colorimétricas L* (luminosidade), a* (vermelho) e b* (amarelo) foram medidas através de dois processos: por colorimetria, com um colorímetro Minolta CR-10 e, com um sistema de visão assistida por computador (VAC). O parâmetro L* medido com o sistema VAC no músculo LTL de suínos foi maior ($P < 0,05$) do que a obtida usando o colorímetro em comparação com os bovinos. Os parâmetros a* e b* também obtiveram valores elevados ($P < 0,05$) com o VAC. Os coeficientes de correlação entre o mesmo parâmetro de cor obtidos pelos dois métodos foram maiores do que 0,8, para bovinos com $r = 0,894; 0,878; 0,955$ para os parâmetros L* a* e b*, respectivamente, enquanto que para as amostras de suínos os coeficientes de correlação para os mesmos parâmetros estão entre 0,6 e 0,7. As equações de regressão foram sempre maiores para os bovinos em todos os parâmetros avaliados com valores de R^2 variando entre 0,771 e 0,911. Estes resultados encorajam a utilização de um sistema de análise de imagem para determinar a cor de forma mais rápida, eficaz e com custos baixos.

9.1. Introdução

As primeiras características avaliadas pelos consumidores no momento da compra das carnes são a aparência superficial e a cor (Léon *et al.*, 2006). A cor é considerada uma das características que tem mais influência na escolha da carne e é assumida pela maioria dos consumidores como um indicador de qualidade (Mancini e Hunt, 2005; Goñi *et al.*, 2007; Girolami *et al.*, 2013). A cor da carne vai mudando durante o tempo de exposição e armazenagem, influenciando assim o seu grau de aceitação pelo consumidor (Girolami *et al.*, 2013; Calnan *et al.*, 2016). Segundo Sun *et al.* (2009), os consumidores de carne bovina relacionam a frescura da carne com a cor “vermelha” ou “vermelho brilhante” e marginalizam carnes com outras cores, por exemplo, vermelho escuro ou roxo. A cor também é um indicador significativo para a carne de suínos (León *et al.*, 2006; Lu *et al.*, 2000).

Muitas pesquisas utilizam o sistema CIELab (Comissão Internacional de Iluminação), que é um sistema padrão utilizado para medir a cor, onde L^* é o componente de luminosidade, que varia de 0 a 100 (de preto para branco), a^* representa o índice de vermelho (de verde, se negativo para vermelho, se positivo) e b^* o índice de amarelo (de azul, se negativo para amarelo, se positivo) (Girolami *et al.*, 2013; León *et al.*, 2006; Larraín *et al.*, 2008).

Assim como a classificação da qualidade da carne através da textura e da quantidade de gordura intramuscular, a determinação dos parâmetros da cor pelo julgamento humano é subjetiva e tendenciosa, pois varia de avaliador para avaliador, além de ser limitada e inconsistente (Du e Sun, 2004; León *et al.*, 2006; Jackman *et al.*, 2010; Chmiel *et al.*, 2011). A incidência da luz na amostra e o estado oxidativo da mioglobina também interferem neste tipo de avaliação (Sun *et al.*, 2016). Outra forma de avaliar a cor da carne é por meio de dispositivos de medição a fim de obter uma análise mais objetiva (Léon *et al.*, 2006). De acordo com Girolami *et al.* (2013), a maioria das pesquisas feitas relativamente a cor da carne são baseadas em informações obtidas com colorímetros, todavia, estes dispositivos possuem limitações. Sobre este assunto, Sun *et al.* (2016), afirmam que dependendo do tipo de colorímetro, o dispositivo, por ter uma abertura pequena, usa apenas uma pequena porção de toda a área de superfície do músculo, afastando-se muito da avaliação visual. De facto, Girolami *et al.* (2013) afirmaram que o colorímetro gera medidas não confiáveis devido a sua pequena área de medida (8 mm de diâmetro). Estes autores (Girolami *et al.*, 2013) referem ainda que há a questão da superfície da carne não ser homogênea e que as características calorimétricas são influenciadas pela gordura intramuscular e tecido conjuntivo. Girolami *et al.* (2013) acrescentam ainda que,

de acordo com os seus resultados, este dispositivo não gera coordenadas correspondentes à verdadeira cor da carne. É por isso importante que a avaliação de cor se faça de forma objetiva de modo a encontrar resultados consistentes com o que é percebido pela visão (Wu e Sun, 2013).

Um sistema capaz de substituir o método de avaliação tradicional de determinação de cor e de encontrar áreas homogêneas na carne com uma maior abertura de visualização é a análise de imagem digital ou visão assistida por computador. A utilização desses sistemas rápidos e objetivos têm oferecido uma alternativa para esse tipo de classificação por serem consistentes, precisos e não-destrutivos (Jackman *et al.*, 2009; Jackman *et al.*, 2010; Chmiel *et al.*, 2011; Girolami *et al.*, 2013; Sun *et al.*, 2016). A fim de avaliar a aplicação de sistemas de análise de imagens sob a cor da carne, muitos estudos têm sido feitos nos últimos anos para verificar a cor da carne em bovinos (Larraín *et al.*, 2008; Jackman *et al.*, 2008; Chen *et al.*, 2010; Girolami *et al.*, 2013; Trinderup *et al.*, 2015) e em suínos (Lu *et al.*, 2000; O'Sullivan *et al.*, 2003; Sun *et al.*, 2009; Chmiel *et al.*, 2011, 2016; Girolami *et al.*, 2013; Sun *et al.*, 2016), confirmando assim a vantagem deste tipo de sistema. Entretanto, é, sobretudo, necessário ter cuidado com a interferência da luz sob a amostra. A luz é emitida na superfície da carne quando é feita a análise da cor tanto com o colorímetro como com imagens digitais. De acordo com Girolami *et al.* (2013), há uma variação na interação da luz dependendo do tipo de dispositivo que é utilizado. Tanto o colorímetro quanto o sistema de análise de imagem mostram diferenças nos parâmetros L^* , a^* e b^* (Girolami *et al.*, 2013). Ainda segundo estes autores, o colorímetro é colocado diretamente na superfície da amostra fazendo com que a luz que penetra na carne seja maior. Relativamente ao processamento de imagem digital, Du e Sun (2004) relataram que um bom sistema de iluminação reduz o tempo de exposição, o custo e melhora a precisão com que se obtêm os parâmetros da cor. Por estas razões, Wu e Sun (2013) consideram a iluminação um pré-requisito importante na hora da captura de imagem, pois a iluminação cria estímulos diferentes em uma mesma câmara. Segundo estes autores (Wu e Sun, 2013), vários tipos de lâmpadas são utilizadas para aquisição de imagens como por exemplo, lâmpadas fluorescentes e fontes eletroluminescentes. Estes tipos de lâmpadas são bastante utilizadas porque a luz fluorescente proporciona uma melhor dispersão na superfície da amostra (Abdullah, 2008).

É também importante que a medição da cor reflita a percepção que o olho humano tem da cor, que como foi referido anteriormente, é o principal atributo para a decisão de compra da carne. Estas são razões para que se estudem alternativas à colorimetria e com base nisso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a relação entre os valores de cor da carne de bovino e suínos no espaço CIELab entre um sistema de visão assistida por computador e colorímetro.

9.2. Material e Métodos

9.2.1. Amostras

Foram utilizadas 89 amostras de músculo *Longissimus thoracis et lumborum* (LTL) da região lombar de carcaças de novilhas cruzadas (Charolês x Holstein) e 110 amostras do músculo LTL de suínos da raça Bísaro. As amostras do músculo LTL foram cortadas num plano perpendicular ao maior eixo do músculo LTL com uma espessura de 3 cm. As amostras do músculo LTL foram analisadas sete dias *post mortem*. Antes de realizar a medição da cor, as amostras foram colocadas num frigorífico à 4°C durante 60 min. Não foi necessário remover a gordura subcutânea das amostras nem o osso, uma vez que as leituras de cor foram realizadas apenas na superfície do músculo LTL.

9.2.2. Colorímetro e sistema de visão assistida por computador

As características colorimétricas de L* (luminosidade), a* (índice de vermelho) e b* (índice de amarelo) foram determinadas usando dois processos: por colorimetria utilizando um colorímetro Minolta CR-10 (8 mm de abertura) e por um sistema de visão assistida por computador (VAC). Para o colorímetro as medições foram realizadas em três pontos diferentes na superfície do músculo LTL de bovinos e suínos.

9.2.3. Aquisição das imagens

O sistema VAC utilizado neste trabalho foi constituído por uma câmara fotográfica digital Olympus EM-5 com um sensor de 16 Megapixel que foi montada verticalmente num suporte, a uma distância de 30 cm da amostra. A câmara estava equipada com lente EZ F3.5-6.3 M. Zuiko ED 12-50 mm com 24 mm, abertura f8 e com um filtro polarizador circular. Para se obter uma intensidade uniforme de luz na superfície do músculo LTL foi utilizado um Macro Olympus OM T28 Flash Duplo com filtros polarizadores em ambas as cabeças. Estes filtros foram ajustados previamente para eliminar o brilho nas fotografias do músculo LTL. As amostras do músculo LTL foram colocadas dentro de uma caixa revestida com pano preto opaco para minimizar a luz de fundo.

9.2.4. Análise das imagens

As imagens foram descarregadas para um computador portátil em arquivo compactado JPEG. Os parâmetros L^* , a^* e b^* foram medidos a partir de fotografias JPEG (4608 x 3456 pixels) com recurso ao programa Adobe Photoshop CS6 (Figura 9.1). Em cada imagem os parâmetros de cor foram determinados em cinco pontos próximos dos pontos medidos previamente com o colorímetro. Quer para as medidas obtidas com o colorímetro, quer para as obtidas pelo sistema VAC, foi utilizada a média dos valores obtidos nos 3 e 5 pontos respetivamente.

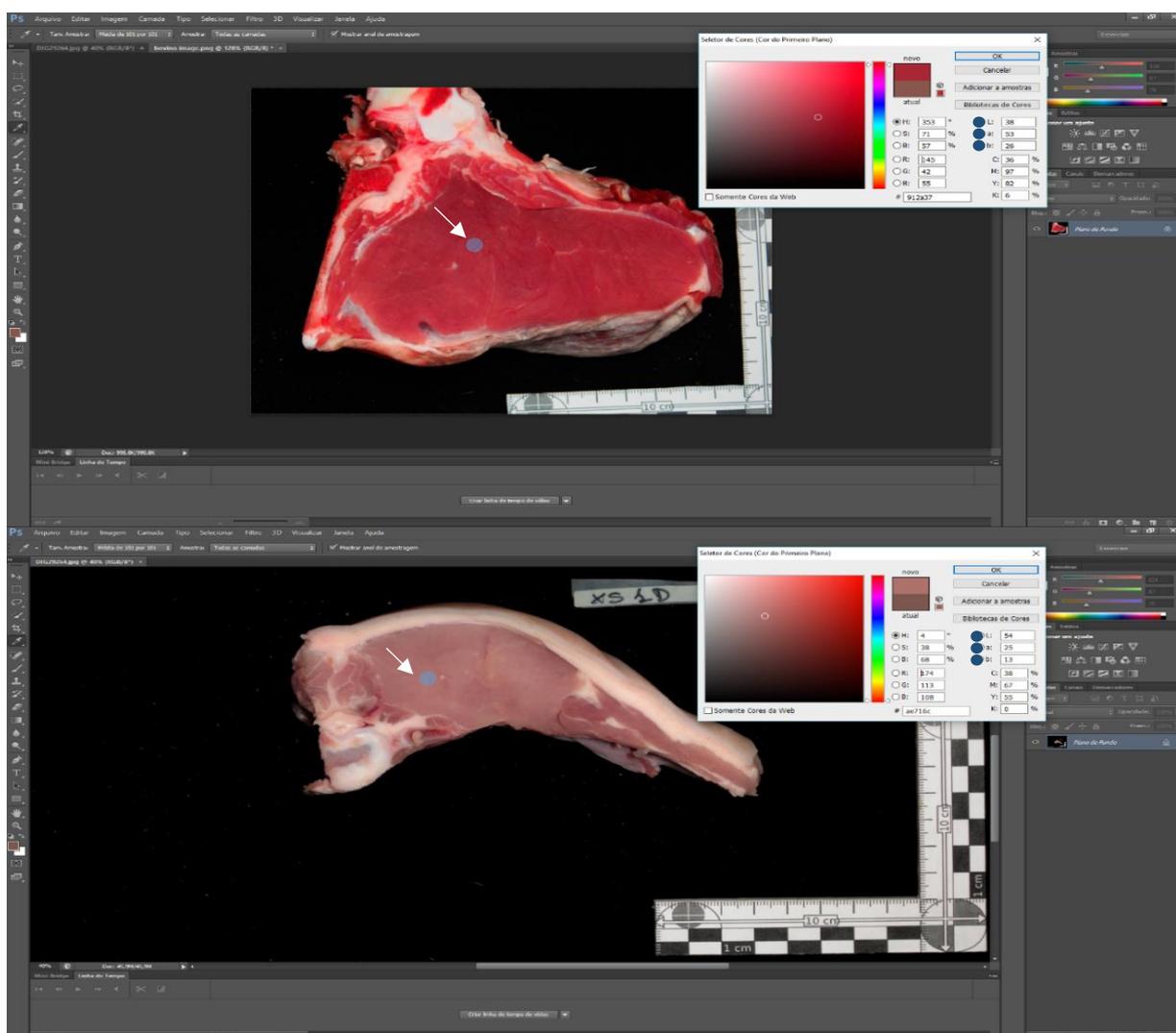


Figura 9.1. Análise de imagem utilizando o software Adobe Photoshop CS6. A imagem ilustra as amostras do músculo LTL de bovinos e suínos, respectivamente. A seta indica um dos pontos onde foram medidos os valores de L^* , a^* e b^* por colorimetria e por VAC.

9.2.5. Análise estatística

Para a análise estatística foi realizada uma análise descritiva com determinação da média, desvio padrão (dp), mínimo, máximo e coeficiente de variação (CV). Foi realizada uma ANOVA a duas vias para estudar o efeito espécie e método de análise de cor. Para comparação das médias foi utilizado o teste *t* de Student. O coeficiente de correlação entre as medidas do colorímetro e o VAC foi avaliado através do teste de correlação de Pearson. Foi realizada também uma análise de regressão entre as medidas de cor obtidas pelo VAC e pelo colorímetro.

9.3. Resultados e Discussão

Os valores médios de L*, a* e b*, os valores máximos e mínimos, o desvio padrão (dp) e o coeficiente de variação (CV) do músculo LTL de bovinos e suínos obtidos com o colorímetro e através de visão assistida por computador (VAC) encontram-se no Quadro 9.1. É possível observar que o parâmetro a* obtido das peças de suínos apresentou um CV mais elevado quando obtido através do colorímetro (38,41%). O valor do CV para o mesmo parâmetro analisado com o sistema VAC foi mais baixo (22,36%). O mesmo observa-se para o parâmetro b*, sendo o CV mais elevado quando este parâmetro foi obtido com o colorímetro.

Quadro 9.1- Valores médios de L*, a* e b, valores máximos e mínimos, desvio padrão (dp) e coeficiente de variação (CV %) do músculo LTL obtidos com o colorímetro e através de visão assistida por computador (VAC) (suíno n=110; bovino n=89).

Espécie	Cor	Colorímetro					VAC				
		Média	dp	Min	Max	CV%	Média	dp	Min	Max	CV%
Bovino	L*	36,18	1,58	32,68	39,90	4,35	32,88	2,01	28,90	37,44	6,10
Suíno	L*	48,68	3,97	37,17	57,37	8,16	51,41	3,80	41,80	59,20	7,40
Bovino	a*	12,90	1,64	9,65	17,85	12,71	27,30	2,25	21,61	33,30	8,25
Suíno	a*	5,49	2,11	1,17	11,97	38,41	18,66	4,17	8,80	25,00	22,36
Bovino	b*	10,81	1,26	6,70	13,85	11,61	14,76	1,61	8,69	18,00	10,91
Suíno	b*	13,13	1,90	7,80	17,03	14,50	13,34	1,73	8,80	18,00	12,99

Os resultados mostram diferenças significativas entre os valores obtidos usando os dois equipamentos para os três parâmetros analisados ($P < 0,001$) (Quadro 9.1). Para o LTL dos bovinos, a luminosidade (L*) da carne medida com o colorímetro foi mais elevada ($P < 0,05$) do

que a mesma medida obtida usando o sistema VAC, sendo os valores médios observados de 36,18 e 32,88 para o colorímetro e o sistema VAC, respectivamente. Pelo contrário, os valores de L* para os suínos foi maior quando medido pelo sistema VAC (51,41) do que usando o colorímetro (48,68). Resultados semelhantes foram reportados por Girolami *et al.* (2013) quando compararam os valores destes parâmetros obtidos pelo colorímetro e por análise de imagem, ou seja, o valor de L* foi mais elevado ($P < 0,01$; $n=15$) e os valores de a* e b* mais baixos ($P < 0,001$; $n=15$) com o colorímetro.

Os parâmetros a* e b* foram mais elevados ($P < 0,05$) quando determinados pelo sistema VAC tanto para bovinos quanto para suínos, sendo os valores médios obtidos para o parâmetro a* 27,30 e 12,90 e para o parâmetro b* de 14,76 e 10,81 (bovinos); 18,66 e 5,49 para o parâmetro a* e 13,34 e 13,13 para o parâmetro b* (suínos), respectivamente para o VAC e o colorímetro. Do mesmo modo, Trinderup *et al.* (2015), que utilizaram um sistema de visão multiespectral, verificaram que os valores dos parâmetros a* e b* de amostras de carne de várias peças frescas ou processadas, de diferentes espécies de animais ($n=35$) apresentaram valores mais baixos quando analisados com o colorímetro comparativamente com os valores obtidos através de um método de análise de imagem. No entanto, no que respeita aos valores de L* estes autores encontraram valores semelhantes quando comparados os dois métodos.

O Quadro 9.2 apresenta os valores da análise de variância para os parâmetros de cor L*, a* e b* em que foram considerados como fatores a espécie e o método.

Quadro 9.2- Análise de variância para os parâmetros de cor L*, a* e b* para o músculo LTL considerando como factores a espécie e o método (suíno $n=110$; bovino $n=89$).

Factor		L*	a*	b*
Espécie (E)	Suíno	50,050 ^a	12,080 ^b	13,230 ^a
	Bovino	34,530 ^b	20,100 ^a	12,790 ^b
Método (M)	Colorímetro	42,430 ^a	9,200 ^b	11,970 ^b
	VAC	42,140 ^a	22,980 ^a	14,050 ^a
EPM		0,235	0,209	0,125
		0,223	0,199	0,118
		0,332	0,296	0,176
Probabilidade	Espécie	<,0001	<,0001	0,0082
	Método	0,3686	<,0001	<,0001
	E x M	<,0001	0,029	<,0001

Valores para o mesmo parâmetro de cor com letras diferentes são significativamente diferentes ($P < 0,05$) de acordo com o teste *t* de student. EPM= erro padrão da média.

Verifica-se que para o fator espécie (E), o parâmetro L^* foi maior quando medido na carne de suínos (50,05) (Quadro 9.2). Os valores de L^* , a^* e b^* de bovinos encontram-se dentro do intervalo esperado de acordo com os valores encontrados na bibliografia por Girolami *et al.* (2013). O parâmetro a^* foi maior nas amostras do músculo LTL de bovinos que em suínos.

Com base no resultado da estatística ANOVA os dois métodos avaliados (M) foram igualmente bons em avaliar o parâmetro L^* , entretanto, o sistema VAC apresentou melhores resultados nos demais parâmetros. Este facto também foi observado por Girolami *et al.* (2013), que encontraram valores de a^* e b^* superiores com o sistema de visão por computador. Os baixos valores dos parâmetros a^* e b^* medidos com o colorímetro podem ser explicados pelo facto de que o comprimento de onda eletromagnética tem baixo índice de refração, penetrando mais profundamente que os demais comprimentos de onda (Girolami *et al.*, 2013). Trinderup *et al.* (2015) também observaram valores semelhantes para o parâmetro L^* entre dois métodos de avaliação de cor da carne (colorímetro e VAC), entretanto, os valores do parâmetro a^* foram mais elevados para o colorímetro enquanto que para o parâmetro b^* os valores foram melhores com o sistema VAC.

O efeito da interação está representado na Figura 9.2. Como podemos observar, os valores obtidos com a carne de suínos para os parâmetros L^* foram maiores quando se utilizou o sistema VAC e o colorímetro. Para os parâmetros a^* e b^* houve efeito da interação apenas para a carne de suínos usando o sistema VAC.

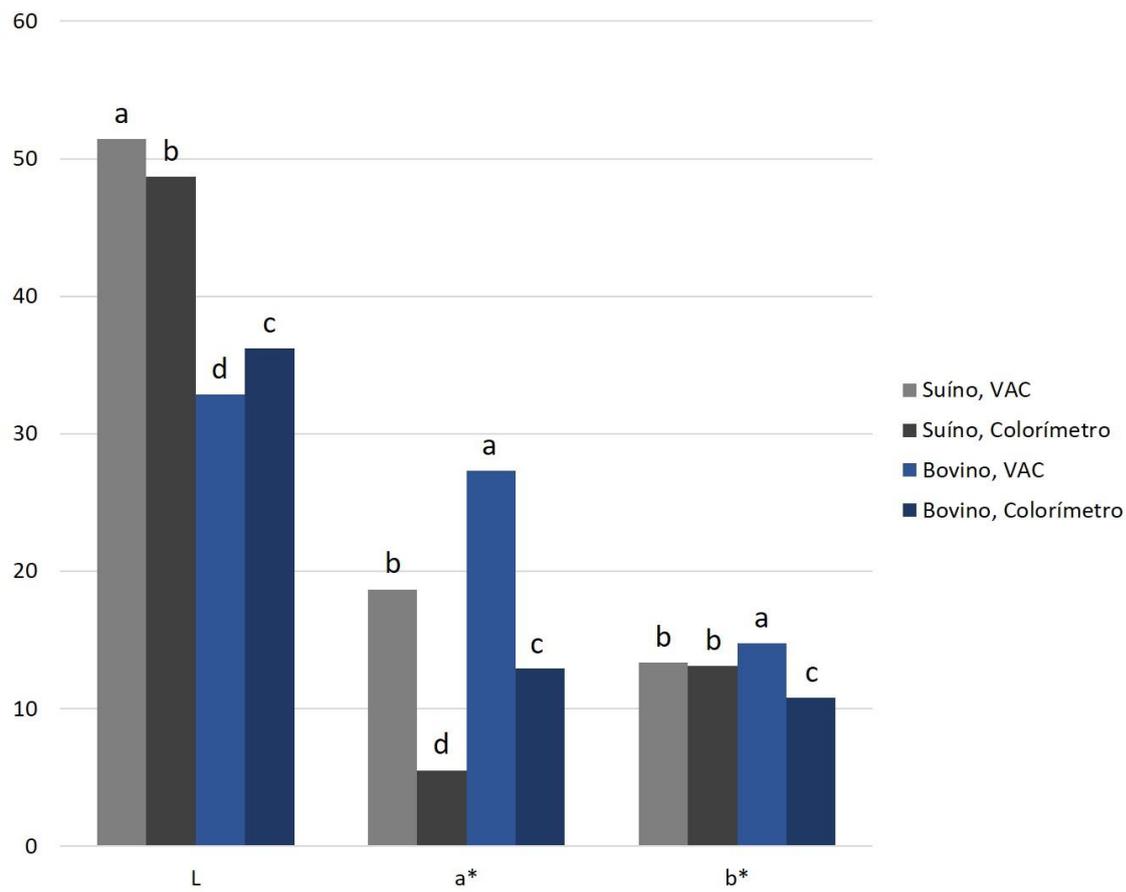


Figura 9.2-Valores dos parâmetros de cor L*, a* e b* para a carne de suíno e de bovino avaliados pelo colorímetro e pelo sistema de visão assistida por computador (VAC). Para cada parâmetro de cor barras encimadas por letras diferentes diferem significativamente (P<0.05).

No Quadro 9.3 podemos observar os coeficientes de correlação (r) entre as medidas obtidas por análise de imagem (VAC) e através do colorímetro. É possível observar correlações significativas (P<0,01) entre os valores obtidos pelos dois métodos de avaliação da cor da carne.

Quadro 9.3- Coeficientes de correlação (r) entre os parâmetros L*, a* e b* do músculo LTL obtidos com o colorímetro e através da visão assistida por computador (VAC).

Espécie	Colorímetro			
	VAC	L*	a*	b*
Bovino (n=89)	L*	0,894	0,426	0,620
	a*	0,380	0,878	0,710
	b*	0,510	0,714	0,955
Suíno (n=110)	L*	0,700	0,098	0,502
	a*	0,332	0,732	0,213
	b*	0,546	0,170	0,666

Todos os valores de r são significativamente ($P < 0,01$) diferentes de zero.

Os coeficientes de correlação entre os mesmos parâmetros obtidos pelos dois métodos foram superiores a 0,8, sendo de $r = 0,894$ para o parâmetro L*, $r = 0,878$ para o parâmetro a* e $r = 0,955$ para o parâmetro b* (Quadro 9.3). Estes resultados são superiores aos encontrados por Girolami *et al.* (2013), que observaram uma correlação de 0,579 ($P < 0,05$; $n = 15$) para o valor de L* obtido pelo colorímetro e por análise de imagem. Por seu lado, Sun *et al.* (2009) investigaram as correlações entre as pontuações de cor e o processamento de imagem digital em amostras de carne de bovinos e encontraram valores significativos ($P < 0,01$) para L* (-0,698) e b* (-0,428). Para o parâmetro a* não houve correlação significativa (0,067; $P > 0,01$). Em contrapartida, Afshari-Jouybari e Farahnaky (2011) encontraram resultados superiores aos obtidos no presente estudo quando verificaram a correlação entre o colorímetro Hunterlab e análise de imagem por Photoshop ($r = 0,991$, 0,966 e 0,987 para os parâmetros L*, a* e b*, respectivamente). De acordo com estes autores (Afshari-Jouybari e Farahnaky, 2011), a determinação da cor através do Photoshop permite selecionar melhor as regiões de interesse.

Já para os suínos, os coeficientes de correlação entre os mesmos parâmetros obtidos pelos dois métodos foram superiores a 0,7, tendo sido $r = 0,700$ para o parâmetro L*, $r = 0,732$ para o parâmetro a* e $r = 0,666$ para o parâmetro b*. Ao estimar as correlações entre o sistema de visão computacional e o colorímetro na carne de suínos para os parâmetros L*, a* e b*, Sun *et al.* (2016), verificaram que a correlação entre os dois métodos de avaliação para o parâmetro L* foi alta $P < 0,0001$ ($r = 0,91$). Os parâmetros a* e b* obtidos por estes autores (Sun *et al.*, 2016) foram semelhantes aos encontrados neste trabalho, tendo sido significativamente correlacionados ($P < 0,0001$), com r de 0,80 e 0,66 para os parâmetros a* e b* respetivamente. O'Sullivan *et al.* (2003), também trabalhando com suínos, encontraram correlações

significativas entre imagens digitais e a avaliação visual, com valores mais elevados quando foi considerada a análise de imagem. Estes autores atribuíram a maior correlação para imagem digital porque a avaliação da cor é feita em toda a área da amostra, mostrando mais representatividade do que o colorímetro.

Nas Figuras de 9.3 a 9.5 são apresentadas as equações de regressão entre as medidas de cor L^* , a^* e b^* obtidas pelo colorímetro e pelo VAC para os bovinos e para os suínos. O coeficiente de determinação (R^2) para o parâmetro L^* de bovino e suínos foi de 0,799 e 0,491, respectivamente (Figura 9.3). Desse modo, 80% e 50% da variação observada no parâmetro L^* para os músculos LTL das duas espécies pode ser explicado utilizando o sistema VAC.

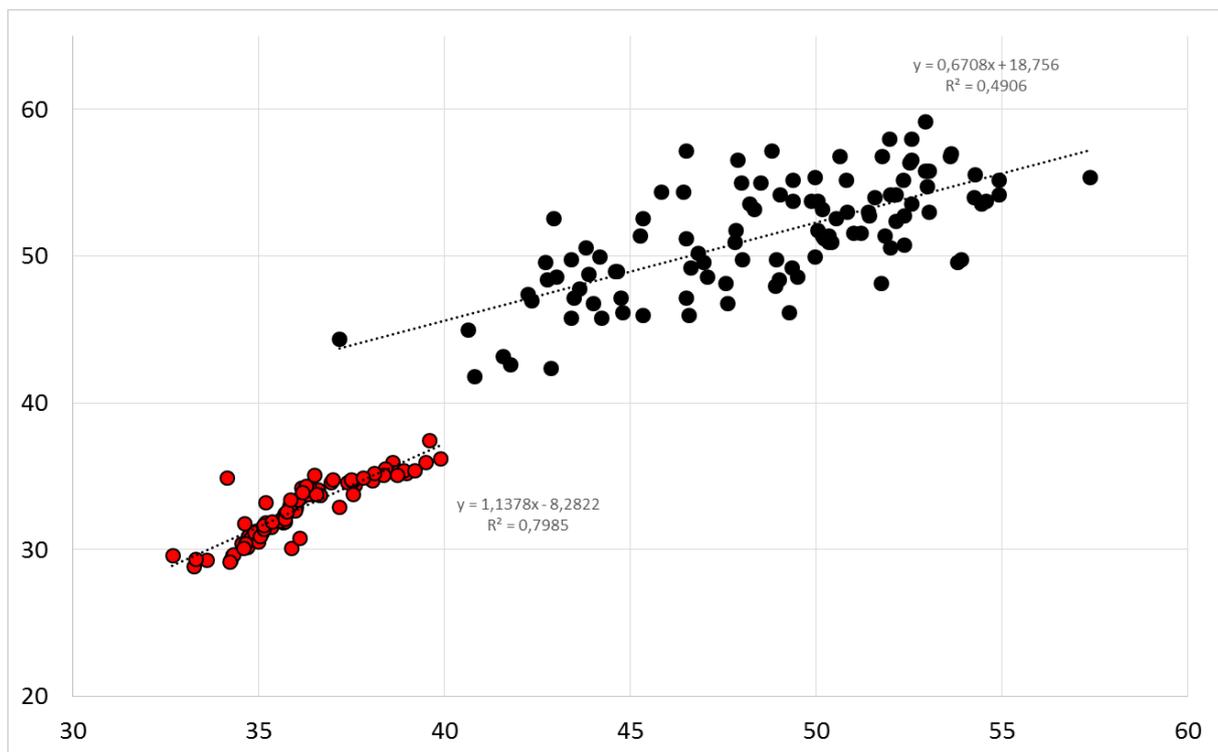


Figura 9.3-Equações de regressão linear entre as medidas de L^* obtidas por VAC (eixo y) e pelo colorímetro (eixo x) para os bovinos (vermelho) e para os suínos (preto).

Resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho com bovinos são reportados por Leroy *et al.* (2004) que, a fim de estimar as propriedades organolépticas da carne de bovinos a partir da análise do infra vermelho próximo (do inglês *near infrared reflectance* NIR), encontraram alta correlação entre NIR e o L^* com $R^2 = 0,85$. Entretanto, ao avaliar o uso de imagens digitais para estimar a cor da carne de bovinos em comparação com o colorímetro, Larraín *et al.* (2008) encontraram valor de R^2 de 0,58 para o parâmetro L^* .

Carnes PSE (Pale, Soft and Exudative) são frequentemente rejeitadas pelos consumidores levando a consequências sérias para a indústria de carne de suínos (Maganhini *et al.*, 2007). Brewer *et al.* (2001), ao analisarem as relações entre medidas instrumentais e avaliação visual da cor da carne de porco, verificaram que o parâmetro L^* era um bom indicador na determinação de carnes PSE e/ou DFD (Dark, Firm and Dry), afirmando que este parâmetro pode ser usado para determinar a qualidade da carne de porco. Chmiel *et al.* (2011), em um estudo sobre o uso da análise de imagem por computador para detectar carnes PSE em suínos, verificaram que a qualidade da carne influencia o parâmetro L^* . Segundo estes autores, o facto da carne PSE ser mais brilhante que a carne normal promoveu maior luminosidade na imagem digital levando a valores médios superiores para as imagens digitais quando comparados ao colorímetro.

Na Figura 9.4 é possível observar o coeficiente de determinação para o parâmetro a^* em bovino e suínos. Os valores de R^2 foi de 0,771 para bovinos e 0,536 para suínos. Valores superiores aos obtidos em bovinos são reportados por Larraín *et al.* (2008), que encontraram $R^2 = 0,96$ para o parâmetro a^* . Segundo estes autores, isto sugere que a análise de imagens digitais é uma ótima opção para avaliar a descoloração em carne de bovinos. Resultados inferiores aos obtidos neste trabalho para o parâmetro a^* em bovinos foram encontrados por Leroy *et al.* (2003), que encontram correlação fraca entre o NIR e a^* ($R^2 = 0,49$). O tamanho da abertura do dispositivo é importante e influencia na determinação dos parâmetros de cor da carne (Yancey e Kropf, 2008). De acordo com Yancey e Kropf (2008), uma abertura muito pequena pode resultar em valores negativos do parâmetro a^* .

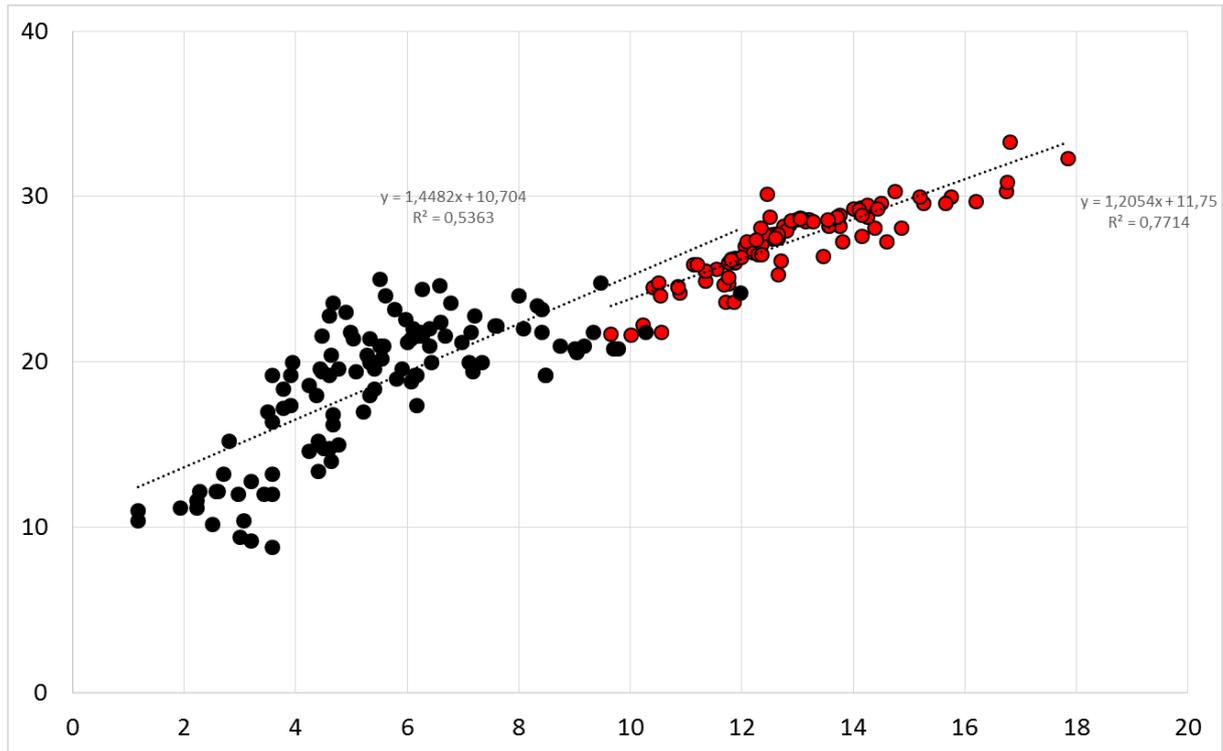


Figura 9.4- Equações de regressão linear entre as medidas de a^* obtidas por VAC (eixo y) e pelo colorímetro (eixo x) para os bovinos (vermelho) e para os suínos (preto).

A Figura 9.5 mostra o coeficiente de determinação para o parâmetro b^* em bovino e suínos. O melhor R^2 para o parâmetro b^* foi encontrado nos bovinos com 0,911. Os resultados encontrados neste trabalho em bovinos foram superiores aos reportados por Leroy *et al.* (2003), que obtiveram R^2 de 0,75 para o parâmetro b^* .

A exposição ao ar e o tempo para a tomada das medidas são factores capazes de alterar os parâmetros de cor da carne. Utilizando o colorímetro para avaliar o efeito da exposição ao ar do músculo *longissimus dorsi* de bovinos, Goñi *et al.* (2007) verificaram que o tempo de oxigenação da carne precisa ser controlado pois, a medida que o tempo passa ocorrem alterações fazendo com que a superfície do músculo quando em contacto com o oxigênio altere a estrutura básica do espectro de refletância, proporcionando aumento significativo nos parâmetros L^* , a^* e b^* .

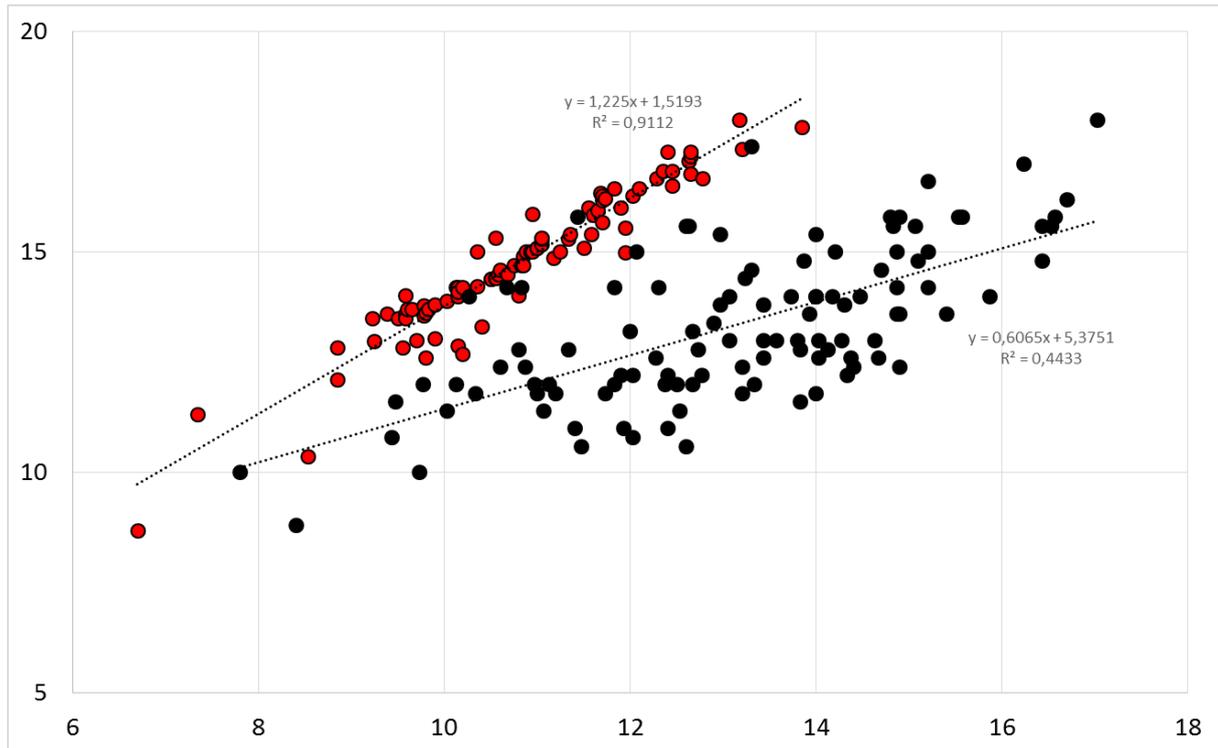


Figura 9.5- Equações de regressão linear entre as medidas de b^* obtidas por VAC (eixo y) e pelo colorímetro (eixo x) para os bovinos (vermelho) e para os suínos (preto).

O valor de R^2 para o parâmetro b^* encontrado na carne de suínos mostrou resultados bastante dispersos. Isto pode ter sido afectado pela iluminação utilizada e pela limitação que surge no momento da recolha de dados com o colorímetro, devido a superfície não homogênea e translúcida da carne (Girolami *et al.*, 2013). De acordo com Mancini e Hunt (2005), o tipo de iluminação e intensidade deve ser padronizado, de avaliador para avaliador e de amostra para amostra.

Os valores de R^2 para os parâmetros L^* , a^* e b^* obtidos por Chmiel *et al.* (2015) foram menores do que aqueles citados na literatura e os obtidos no presente trabalho com suínos. Por seu lado, Sun *et al.* (2016), ao testar dois modelos de regressão diferentes (linear e passo a passo) para estimar as pontuações de cor de carne de porco, encontraram um coeficiente de determinação favorável quando utilizaram um método de regressão linear para estimativa de pontuação de cor da carne de suínos ($R^2=0,83$) em comparação com a regressão passo a passo ($R^2=0,70$).

9.4. Conclusões

Este trabalho mostra que há uma relação nos parâmetros L^* , a^* e b^* resultantes da avaliação da cor na superfície do músculo LTL de bovino e de suíno pelos dois sistemas estudados (colorímetro e VAC), tendo sido o sistema VAC que reproduziu medições mais semelhantes à cor real da carne em bovinos. Os resultados mostraram ainda que o colorímetro não foi capaz de fornecer parâmetros que correspondessem correctamente com a verdadeira cor da carne por influência da luz e estrutura da carne. Estes resultados encorajam a utilização de um sistema de análise de imagem para determinar a cor de forma mais rápida e permitindo uma maior aproximação à percepção que se tem com a visão. Por fim, deve ser apontado que o sistema de análise de imagem utilizado pode apresentar uma relação custo benefício favorável.

9.5. Referências

- Abdullah, M.Z., 2008. Image acquisition systems. In D.W. Sun (Ed.), Computer vision technology for food quality evaluation. Elsevier, San Diego, California, USA: Academic Press.
- Afshari-Jouybari, H., Farahnaky, A., 2011. Evaluation of Photoshop software potential for food colorimetry. *Journal of Food Engineering* 106, 170-175.
- Brewer, M.S., Zhu, L.G., Bidner, B., Meisinger, D.J., McKeith, F.K., 2001. Measuring pork color: effects of bloom time, muscle, pH and relationship to instrumental parameters. *Meat Science* 57, 169-176.
- Calnan, H., Jacob, R.H., Pethick, D.W., Gardner, G.E., 2016. Production factors influence fresh lamb *longissimus* colour more than muscle traits such as myoglobin concentration and pH. *Meat Science* 119, 41-50.
- Chen, K., Sun, X., Qin, C., Tang, X., 2010. Color grading of beef fat by using computer vision and support vector machine. *Computers and Electronics in Agriculture* 70, 27-32.
- Chmiel, M., Slowinski, M., Dasiewicz, K., 2011. Lightness of the color measured by computer image analysis as a factor for assessing the quality of pork meat. *Meat Science* 88, 566-570.

- Chmiel, M., Slowinski, M., Dasiewicz, K., Florowski, T., 2016. Use of computer vision system (CVS) for detection of PSE pork meat obtained from m. semimembranosus. *Lwt-Food Science and Technology* 65, 532-536.
- Du, C.J., Sun, D.W., 2004. Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Trends in Food Science & Technology* 15, 230-249.
- Girolami, A., Napolitano, F., Faraone, D., Braghieri, A., 2013. Measurement of meat color using a computer vision system. *Meat Science* 93, 111-118.
- Goñi, V., Indurain, G., Hernandez, B., Beriain, M.J., 2008. Measuring muscle color in beef using an instrumental method versus visual color scales. *Journal of Muscle Foods* 19, 209-221.
- Jackman, P., Sun, D.-W., Du, C.-J., Allen, P., 2009. Prediction of beef eating qualities from colour, marbling and wavelet surface texture features using homogenous carcass treatment. *Pattern Recognition* 42, 751-763.
- Jackman, P., Sun, D.-W., Allen, P., 2010. Prediction of beef palatability from colour, marbling and surface texture features of *longissimus dorsi*. *Journal of Food Engineering* 96, 151-165.
- Jackman, P., Sun, D.W., Du, C.J., Allen, P., Downey, G., 2008. Prediction of beef eating quality from colour, marbling and wavelet texture features. *Meat Science* 80, 1273-1281.
- Larraín, R.E., Schaefer, D.M., Reed, J.D., 2008. Use of digital images to estimate CIE color coordinates of beef. *Food Research International* 41, 380-385.
- Leon, K., Mery, D., Pedreschi, F., Leon, J., 2006. Color measurement in L*a*b* units from RGB digital images. *Food Research International* 39, 1084-1091.
- Leroy, B., Lambotte, S., Dotreppe, O., Lecocq, H., Istasse, L., Clinquart, A., 2004. Prediction of technological and organoleptic properties of beef *Longissimus thoracis* from near-infrared reflectance and transmission spectra. *Meat Science* 66, 45-54.
- Lu, J., Tan, J., Shatadal, P., Gerrard, D.E., 2000. Evaluation of pork color by using computer

vision. *Meat Science* 56, 57-60.

Maganhini, M.B., Mariano, B., Soares, A.L., Guarnieri, P.D., Shimokomaki, M., Ida, E.I., 2007. Meats PSE (Pale, Soft, Exudative) and DFD (Dark, Firm, Dry) of an industrial slaughterline for swine loin. *Ciencia e Tecnologia De Alimentos* 27, 69-72.

Mancini, R.A., Hunt, M.C., 2005. Current research in meat color. *Meat Science* 71, 100-121.

O'Sullivan, M.G., Byrne, D.V., Martens, H., Gidskehaug, L.H., Andersen, H.J., Martens, M., 2003. Evaluation of pork colour: prediction of visual sensory quality of meat from instrumental and computer vision methods of colour analysis. *Meat Science* 65, 909-918.

Sun, X., Gong, H.J., Zhang, F., Chen, K.J., 2009. A digital image method for measuring and analyzing color characteristics of various color scores of beef. *Proceedings of the 2009 2nd International Congress on Image and Signal Processing, Vols 1-9*, 1610-1615.

Sun, X., Young, J., Liu, J.H., Bachmeier, L., Somers, R.M., Chen, K.J., Newman, D., 2016. Prediction of pork color attributes using computer vision system. *Meat Science* 113, 62-64.

Trinderup, C.H., Kim, Y.H.B., 2015. Fresh meat color evaluation using a structured light imaging system. *Food Research International* 71, 100-107.

Wu, D., Sun, D.-W., 2013. Colour measurements by computer vision for food quality control - A review. *Trends in Food Science & Technology* 29, 5-20.

Yancey, J.W.S., Kropf, D.H., 2008. Instrumental reflectance values of fresh pork are dependant on aperture size. *Meat Science* 79, 734-739.

Considerações finais

A procura por métodos e técnicas que permitam obter informação objectiva sobre a qualidade/composição de carcaças, de peças e da carne aumentou nos últimos anos. O que se tem procurado são métodos e técnicas que sejam fáceis de aplicar e que permitam obter informação de forma rigorosa, precisa, rápida e de modo não destrutivo. O desenvolvimento e aplicação de técnicas baseadas na imagem têm sido um dos campos mais promissores. Entre as técnicas de imagem, a ultrassonografia em tempo real e a análise de imagem vídeo têm permitido que as informações tanto da carne como da carcaça dos animais de produção sejam obtidas de forma objectiva, clara e eficiente. Estas técnicas são adaptáveis podendo ser utilizadas em linhas de abate ou numa sala de desmancha. Os resultados obtidos nesta tese sugerem que a ultrassonografia em tempo real é uma técnica que pode ser utilizada na caracterização e determinação da gordura intramuscular das peças de bovinos. Com a análise das imagens dos ultrassons foi possível obter informações mais detalhadas das características da gordura intramuscular, como por exemplo, tamanho e distribuição das partículas de marmoreado. Por seu lado, os resultados encontrados com a análise de imagem vídeo são promissores, e mostram transparência na avaliação das carcaças onde, conseqüentemente, é possível obter um pagamento mais justo e diferenciado pelas carcaças aos produtores. Para além disso, os resultados aqui encontrados apontam que é possível obter informação relevante sobre carcaças, peças e carne com trabalhos envolvendo sistemas VIA simples em ovinos. Espera-se que os resultados obtidos nesta tese, quer com UTR quer com VIA, sejam encorajadores e que seja possível a sua utilização como uma ferramenta para acrescentar valor aos produtos em unidades de abate de reduzida dimensão e com poucos animais. Sugere-se ainda, que este tipo de trabalho possa ser aprofundado com a realização de estudos que possam permitir mais conhecimento utilizando estas técnicas *in vivo* para determinar pontos ótimos de abate nos sistemas de produção tradicionais. Isto irá permitir que os produtos tenham sempre elevada qualidade,

cumprindo com o que se espera de uma abordagem de precisão, enquadrável no conceito atual de agricultura de precisão (*precision farming*).

