



ISIS CELENA AMARAL

**APLICAÇÃO DA TÉCNICA DO BIOSPECKLE
LASER NA DETERMINAÇÃO DE FENÔMENOS
BIOLÓGICOS RELACIONADOS À
MATURAÇÃO DA CARNE BOVINA**

LAVRAS - MG

2012

ISIS CELENA AMARAL

**APLICAÇÃO DA TÉCNICA DO
BIOSPECKLE LASER NA DETERMINAÇÃO DE FENÔMENOS
BIOLÓGICOS RELACIONADOS À MATURAÇÃO DA CARNE
BOVINA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas, área de concentração em Modelagem de Sistemas Biológicos, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Roberto Alves Braga Júnior

Coorientador

Dr. Eduardo Mendes Ramos

LAVRAS - MG

2012

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Amaral, Isis Celena.

Aplicação da técnica do biospeckle laser na determinação de fenômenos biológicos relacionados à maturação da carne bovina / Isis Celena Amaral. – Lavras : UFLA, 2012.

75 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: Roberto Alves Braga.

Bibliografia.

1. Carne. 2. Qualidade. 3. Métodos ópticos. 4. Momento de inércia. 5. Atividade biológica. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 621.366

ISIS CELENA AMARAL

**APLICAÇÃO DA TÉCNICA DO
BIOSPECKLE LASER NA DETERMINAÇÃO DE FENÔMENOS
BIOLÓGICOS RELACIONADOS À MATURAÇÃO DA CARNE
BOVINA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas, área de concentração em Modelagem de Sistemas Biológicos, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 27 de fevereiro de 2012.

Dr. Eduardo Mendes Ramos UFLA

Dra. Juliana Vilela Lourençoni Botega CEFET-MG

Dr. Jaime Vilela de Resende UFLA

Dr. Roberto Alves Braga Júnior

Orientador

LAVRAS - MG

2012

*A DEUS que, durante toda a minha vida, nunca desviou de mim o seu olhar, por
me segurar pelas mãos e fazer meus passos bem mais firmes.
Obrigada por tornar tudo possível.*

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por iluminar meus caminhos, por toda força e coragem que me destes nos momentos de dificuldade, ansiedade e insegurança.

Aos meus pais, Rosângela e Antônio, pelo carinho, incentivo e confiança que em mim depositaram.

Aos meus irmãos, Evelize e Antonio César, pela convivência, apoio e amizade.

Ao meu namorado, Alison, pelo amor, carinho e por estar sempre ao meu lado, me incentivando.

Aos meus bebês, Chamby, Binho e ao mais novo filhote, Hatch, pelos grandes momentos de felicidade.

A todos os meus amigos que torceram por mim.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas e ao Departamento de Engenharia (DEG), pela oportunidade de realizar o mestrado.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos, permitindo a realização deste projeto.

Aos professores dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas e Ciência dos Alimentos, pelos ensinamentos e auxílio nos trabalhos.

Aos professores Roberto Braga e Eduardo Mendes Ramos, pela orientação, amizade, apoio, dedicação e paciência.

Aos professores Giovanni Rabelo e Bruno Barbosa, do Departamento de Engenharia (DEG); Juliana Vilela Lourençoni Botega, do Cefet-MG campus Nepomuceno e Jaime Vilela de Resende e Alcinéia de Lemos Souza Ramos, do Departamento de Ciência dos Alimentos (DCA), pelas sugestões e ajuda no trabalho desenvolvido.

Aos amigos do CEDIA e ao Sr. Antônio, à D. Joselha, ao Kleber, Márcio Canela, Robinho, Michel, José Nozela, Baiano, Tampico, Cardoso, Daiane, Estevam, Henrique, Laysa e aos amigos do DCA, Gi, Mona, Cris, Andressa, Cecília, Fernando, Élide, Letícia, Flávia, Juliana, pela ajuda nos trabalhos desenvolvidos, pelas palavras amigas nos momentos difíceis e pelos ótimos momentos de descontração.

À minha grande amiga Ayssa, que ganhei aos sete anos de idade e que, desde então, sempre esteve ao meu lado, por sua bondade, alegria, incentivo e por sempre me mostrar o lado positivo das coisas. Agradeço a você, sua mãe (Cidinha) e irmã (Alexana), por me acolherem como se eu fosse da família.

Às preciosas amigas que ganhei durante o mestrado, Gi, Daiane e Isabel, pela amizade, momentos compartilhados, pelas conversas e palavras de apoio.

À Greice, secretária da pós-graduação, pela ajuda e paciência.

Enfim, agradeço a todos que, pela presença, pelas palavras, pelo sorriso ou pela simples lembrança, me deram coragem e determinação para traçar um caminho em busca de meus ideais.

Muito Obrigada!

RESUMO

Dentre as características de qualidade da carne bovina, a cor é um dos principais fatores que influenciam a sua comercialização, sendo a única característica percebida pelo consumidor no ato da compra. Porém, a maciez assume posição de destaque, sendo considerada a característica sensorial de maior influência na aceitação da carne, por parte do consumidor. Uma tecnologia objetiva que possa prever a qualidade da carne é altamente desejável pela indústria, e dentre as várias tecnologias emergentes, os métodos ópticos têm o maior potencial de aplicação, por serem rápidos, não destrutivos e, geralmente, de baixo custo. O biospeckle é um método óptico que usa o padrão de interferência formado, quando um material biológico é iluminado por uma luz coerente, para monitorar o nível de atividade dos dispersores de luz presentes no tecido e, conseqüentemente, buscar a correlação com a atividade biológica dos constituintes da amostra. Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o potencial de aplicação da técnica do biospeckle laser e testar novas abordagens propostas para a melhoria da técnica do Momento de Inércia, a fim de avaliar e quantificar os fenômenos biológicos relacionados à maturação da carne bovina. Amostras de músculo *Longissimus thoracis* foram maturadas, pelo período de 21 dias, sendo realizadas as análises do biospeckle laser, pH, índice de fragmentação miofibrilar (IFM), capacidade de retenção de água (CRA), cor objetiva, perda de peso por cozimento (PPC) e força de cisalhamento (FC). De acordo com os resultados, o biospeckle laser pode ser capaz de estimar a atividade biológica proveniente da ação das enzimas endógenas da carne (calpaínas e catepsinas) responsáveis pelo processo de maturação, por meio da sua correlação com as análises de pH e FC. A alta correlação da análise biospeckle com alguns parâmetros de cor, principalmente com o ângulo de tonalidade (h^*) e o percentual de metamioglobina (MMb), demonstra o potencial desta técnica na avaliação da qualidade da cor de carne. Os testes de normalização das imagens, a partir da matriz de ocorrência (MOC), apresentaram resultados que validam as propostas de mudanças na normalização, tendo a normalização AVD sido a que obteve um melhor ajuste dos dados referente às análises do tecido animal. No presente trabalho foi demonstrado que a técnica do biospeckle laser, associada aos métodos de análises de imagens, fornece informações sobre as características físico-químicas responsáveis pela maciez da carne que podem ser correlacionadas aos parâmetros de qualidade da carne bovina.

Palavras-chave: Carne. Qualidade. Métodos ópticos. Momento de inércia. Atividade biológica.

ABSTRACT

Among the characteristics that indicate the quality of beef, color is one of the main factors that have an influence on its sale as it is the sole characteristic perceived by the consumer at the time of purchase. However, tenderness is what most stands out, and it is considered to be the sensory characteristic with the greatest influence on consumer acceptance of the meat. An objective technology that can predict meat quality is highly desired by the meat industry, and among the various emerging technologies, optical methods have the greatest potential application since they are quick, non-destructive and, generally, low cost. Biospeckle is an optical method that uses the interference pattern that is formed when a biological material is illuminated by a coherent light to monitor the level of activity of the light dispersers present in the tissue and, consequently, to seek to determine the correlation with the biological activity of the constituents of the sample. This study was performed for the purpose of evaluating the potential for application of the biospeckle laser technique and of testing new approaches proposed for improvement of the Moment of Inertia technique so as to evaluate and quantify the biological phenomena related to aging of beef. Samples of the muscle *Longissimus thoracis* were aged for a period of 21 days and the following analyses were undertaken: biospeckle laser, pH, myofibrillar fragmentation index (MFI), water retention capacity (WRC), objective color, loss of weight in cooking (LWC) and shear force (SF). According to the results, biospeckle laser may be able to estimate the biological activity arising from the action of meat endogenous enzymes (calpains and cathepsins) responsible for the aging process, by means of their correlation with the pH and FC analyses. The high correlation of biospeckle analysis with some parameters like color, especially with the hue angle (h^*) and the metmyoglobin percentage (MMb) show the potential of this technique in evaluation of the quality of meat color. Normalization tests of images as of the occurrence matrix (OM) show results that validate the proposal for changes in normalization, with AVD normalization having obtained the best adjustment of the data in reference to analyses of animal tissue. This study showed that the biospeckle laser technique, associated with image analysis methods, provides information regarding the physical-chemical characteristics responsible for meat tenderness which may be correlated to quality parameters of beef.

Keywords: Meat. Quality. Optical methods. Moment of inertia. Activity biological.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|----------|---|----|
| Figura 1 | Estrutura do músculo esquelético | 19 |
| Figura 2 | Padrão speckle formado por uma folha branca de papel iluminada com um laser..... | 27 |
| Figura 3 | História temporal do padrão do speckle (THSP)..... | 29 |
| Figura 4 | (a) THSP da amostra com baixa atividade e (b) THSP da amostra com alta atividade..... | 30 |
| Figura 5 | (a) THSP e (b) MOC da amostra com baixa atividade..... | 32 |
| Figura 6 | (a) THSP e (b) MOC da amostra com alta atividade..... | 33 |
| Figura 7 | Configuração experimental do biospeckle laser | 41 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | | |
|------------|---|----|
| Gráfico 1 | Correlação do biospeckle analisado após exposição da carne ao ar atmosférico, por 30 minutos (MIJ 30m) com os valores de pH da carne | 46 |
| Gráfico 2 | Correlação do biospeckle analisado após exposição da carne ao ar atmosférico, por 30 minutos (MIJ 30m) com os valores de força de cisalhamento (FC) da carne | 47 |
| Gráfico 3 | Correlação do biospeckle analisado após exposição da carne ao ar atmosférico, por 30 minutos (MIJ 30m), com os valores do ângulo de tonalidade h^* da carne | 49 |
| Gráfico 4 | Correlação do biospeckle analisado após exposição da carne ao ar atmosférico, por 30 minutos (MIJ 30m), com os valores da metamioglobina (MMb) da carne..... | 50 |
| Gráfico 5 | Correlação do biospeckle da carne embalada (AVD_ARI) analisado com os valores de força de cisalhamento (FC) da carne | 54 |
| Gráfico 6 | Correlação do biospeckle analisado após exposição da carne em ar atmosférico por 30 minutos AVD_ARI (30m) com os valores de força de cisalhamento (FC) da carne | 54 |
| Gráfico 7 | Variação da força de cisalhamento (FC) da carne ao longo dos 21 dias de maturação. Barras representam o erro padrão da média. | 55 |
| Gráfico 8 | Correlação do biospeckle da carne embalada (AVD) com os valores do ângulo de tonalidade h^* da carne..... | 59 |
| Gráfico 9 | Correlação do biospeckle analisado após exposição da carne em ar atmosférico por 30 minutos (AVD 30m) com os valores do ângulo de tonalidade h^* da carne | 59 |
| Gráfico 10 | Correlação do biospeckle da carne embalada (AVD) com os valores do índice de vermelho a^* da carne..... | 60 |
| Gráfico 11 | Correlação do biospeckle analisado após exposição da carne ao ar atmosférico por 30 minutos (AVD 30m) com os valores do índice de vermelho a^* da carne | 60 |
| Gráfico 12 | Variação dos parâmetros de cor L, a^* , b^* da carne, ao longo dos 21 dias de maturação. Barras representam o erro padrão da média. | 61 |
| Gráfico 13 | Variação dos parâmetros de cor C^* e h^* da carne, ao longo dos 21 dias de maturação. Barras representam o erro padrão da média. | 62 |
| Gráfico 14 | Correlação do biospeckle da carne embalada (AVD) com os valores de metamioglobina (MMb) da carne | 64 |

| | | |
|------------|---|----|
| Gráfico 15 | Correlação do biospeckle analisado após exposição da carne em ar atmosférico por 30 minutos (AVD 30m) com os valores de metamioglobina (MMb) da carne..... | 64 |
| Gráfico 16 | Correlação do biospeckle da carne embalada (AVD) com os valores de oximioglobina (O ₂ Mb) da carne..... | 65 |
| Gráfico 17 | Correlação do biospeckle analisado após exposição da carne em ar atmosférico por 30 minutos (AVD 30m) com os valores de oximioglobina (O ₂ Mb) da carne..... | 65 |
| Gráfico 18 | Varição da metamioglobina (MMb), metamioglobina reduzida (Mb ⁺) e oximioglobina (O ₂ Mb) da carne, ao longo dos 21 dias de maturação. Barras representam o erro padrão da média..... | 67 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|----------|--|----|
| Tabela 1 | Análise descritiva simples dos resultados observados no experimento..... | 43 |
| Tabela 2 | Coeficientes de correlação de Pearson dos parâmetros de maciez estudados em relação às leituras no biospeckle laser (n=16)..... | 44 |
| Tabela 3 | Análise descritiva simples dos resultados observados no experimento..... | 47 |
| Tabela 4 | Coeficientes de correlação de Pearson dos parâmetros de cor estudados em relação às leituras no biospeckle laser (n=16)..... | 48 |
| Tabela 5 | Análise descritiva simples dos resultados observados no experimento..... | 51 |
| Tabela 6 | Coeficientes de correlação de Pearson dos parâmetros tempo e FC estudados em relação às leituras no biospeckle laser (n=30)..... | 52 |
| Tabela 7 | Análise descritiva simples dos resultados observados no experimento..... | 56 |
| Tabela 8 | Coeficientes de correlação de Pearson dos parâmetros de cor (L*, a*, b*, C*, h*) em relação às leituras no biospeckle laser (n=30) | 57 |
| Tabela 9 | Coeficientes de correlação de Pearson dos pigmentos (MMb, Mb ⁺ , O ₂ Mb) estudados em relação às leituras no biospeckle laser (n=30) | 63 |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 15 |
| 2 | OBJETIVOS | 17 |
| 2.1 | Objetivo geral | 17 |
| 2.2 | Objetivos específicos | 17 |
| 3 | REFERENCIAL TEÓRICO | 18 |
| 3.1 | Estruturas da carne | 18 |
| 3.2 | Cor na qualidade da carne | 19 |
| 3.2.1 | Pigmentos da carne | 20 |
| 3.3 | Fatores que afetam a maciez da carne | 21 |
| 3.3.2 | Maturação | 22 |
| 3.4 | Composição físico-química da carne | 23 |
| 3.4.1 | Capacidade de retenção de água (CRA) | 23 |
| 3.4.2 | Cor | 23 |
| 3.4.3 | Perda de peso por cozimento (PPC) | 24 |
| 3.4.4 | Potencial hidrogeniônico (pH) | 24 |
| 3.4.5 | Índice de fragmentação miofibrilar (IFM) | 24 |
| 3.4.6 | Força de cisalhamento (FC) | 25 |
| 3.5 | Métodos ópticos para avaliação da qualidade da carne | 25 |
| 3.6 | Biospeckle ou speckle dinâmico | 26 |
| 3.7 | Técnicas de processamento das imagens do biospeckle laser | 28 |
| 3.7.1 | História temporal do padrão do speckle (THSP) | 28 |
| 3.7.2 | Momento de Inércia (MI) | 33 |
| 4 | MATERIAIS E MÉTODOS | 35 |
| 4.1 | Experimento piloto | 35 |
| 4.2 | Experimento principal | 36 |
| 4.3 | Metodologias | 37 |
| 4.3.1 | Perda de peso por cozimento (PPC) | 37 |
| 4.3.2 | Força de cisalhamento (FC) | 37 |
| 4.3.3 | Cor instrumental | 38 |
| 4.3.4 | Medida de pH | 39 |
| 4.3.5 | Capacidade de retenção de água (CRA) | 39 |
| 4.3.6 | Índice de fragmentação miofibrilar (IFM) | 40 |
| 4.3.7 | Biospeckle laser | 40 |
| 4.4 | Delineamento estatístico | 42 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 43 |
| 5.1 | Experimento piloto | 43 |
| 5.1.1 | Parâmetros de maciez | 43 |
| 5.1.2 | Parâmetros de cor | 47 |
| 5.2 | Experimento principal | 50 |

| | | |
|--------------|-----------------------------------|-----------|
| 5.2.1 | Força de cisalhamento..... | 50 |
| 5.2.2 | Parâmetros de cor | 55 |
| 6 | CONCLUSÃO | 68 |
| 6.1 | Trabalhos futuros..... | 69 |
| | REFERÊNCIAS | 70 |

1 INTRODUÇÃO

A indústria de carne é um setor econômico importante, principalmente nos países desenvolvidos, onde a demanda por este produto é alta, especialmente no que diz respeito à carne *in natura*. Neste cenário, a produção animal no Brasil representa uma grande parcela do comércio de alimentos do mundo, já que o país é considerado o maior exportador mundial de carne bovina.

Toda carne fornecida aos mercados deve ser submetida ao controle de qualidade, a fim de garantir a segurança do consumidor. No entanto, consumidores estão dispostos a pagar mais caro por produtos com garantia adicional de qualidade. A cor é um dos principais fatores que influenciam a venda de carne, pois é a única característica percebida pelo consumidor. Além da cor, a qualidade da degustação deste produto é altamente influenciada pelas propriedades sensoriais, tais como suculência, sabor e, principalmente, a maciez.

Existem vários métodos de predição da qualidade da carne bovina, embora a maioria destes ainda esteja sob estudos, sendo métodos sensoriais e analíticos de alto custo, cuja realização é complexa e requerem muito tempo de análise. A busca por alternativas de métodos instrumentais de avaliação da qualidade da carne tem sido um esforço de pesquisa, buscando resultados similares aos obtidos por degustadores e de acordo com a avaliação dos consumidores. Entre as várias tecnologias emergentes, os métodos ópticos têm grande potencial de aplicações, considerando sua rapidez, além de suas características não destrutivas e, geralmente, de baixo custo.

O biospeckle laser é uma técnica óptica que processa os padrões de interferência formados quando um material biológico é iluminado por uma luz coerente. É uma técnica não invasiva, não destrutiva, de baixo custo e que vem sendo utilizada como um método de quantificação da atividade biológica, em diversas áreas do conhecimento.

Existem várias técnicas para tratar as imagens provenientes do biospeckle. Quando o objetivo é obter informações de diferentes níveis de atividade em uma amostra, utiliza-se o processamento de imagens que geram mapas, indicando a variabilidade espacial da atividade biológica e, dessa forma, a análise é conhecida como a técnica gráfica. Quando a informação requerida é uma quantificação da mudança do padrão de speckle em um meio supostamente homogêneo, a abordagem passa a ser numérica.

Considerando a tendência das pesquisas em desenvolverem métodos não destrutivos para avaliar a qualidade da carne, neste trabalho foi desenvolvido um estudo das variações dos fenômenos biológicos presentes na carne bovina, considerando as variações temporais do speckle dinâmico, quando submetidas ao processo de maturação. De forma específica, buscou-se relacionar a atividade biológica da carne bovina em maturação, vista pelo biospeckle laser, com os parâmetros relacionados à cor e à maciez da amostra, bem como validar novas abordagens para a análise numérica do biospeckle laser.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Explorar a técnica do biospeckle laser e seus métodos de análises de imagens, a fim de avaliar e quantificar os fenômenos biológicos relacionados à maturação da carne bovina.

2.2 Objetivos específicos

- a) avaliar e quantificar os fenômenos biológicos relacionados à maciez da carne durante o processo de maturação;
- b) propor uma metodologia para monitorar a atividade presente no processo de maturação da carne bovina por meio da técnica do biospeckle laser;
- c) avaliar a correlação do biospeckle laser com as mudanças de cor ocorridas durante o processo de maturação da carne bovina;
- d) validar novas abordagens na técnica do Momento de Inércia, definindo a normalização da matriz de ocorrência com melhor ajuste às análises do tecido animal.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Estruturas da carne

Cerca de 30% a 40% do peso animal, incluindo o homem, consiste de músculo esquelético (PEARSON; YOUNG, 1989). O sistema muscular esquelético constitui a maior parte da musculatura do corpo, formando o que se chama popularmente de carne. Essa musculatura recobre totalmente o esqueleto e está presa aos ossos, sendo responsável pela movimentação corporal.

Circundando o músculo como um todo existe uma bainha de tecido conjuntivo conhecido como epimísio, de cuja superfície interna partem septos de tecido conjuntivo para dentro do músculo, separando as fibras musculares em feixes. Esses septos constituem o perimísio, que contém os vasos sanguíneos e os nervos. A partir do perimísio forma-se uma fina rede de tecido conjuntivo que envolve cada fibra muscular individualmente, sendo chamado de endomísio (LAWRIE, 2005).

Organela típica da fibra muscular, as miofibrilas são estruturas cilíndricas, compridas e delgadas, orientadas no sentido longitudinal das fibras e que preenchem seu interior (Figura 1). As miofibrilas são compostas de miofilamentos finos constituídos, principalmente, por monômeros da proteína actina e miofilamentos grossos, constituídos por monômeros da proteína miosina (RAMOS; GOMIDE, 2007).

O arranjo em forma de estrias das miofibrilas deve-se ao alinhamento dos segmentos anisotrópicos e isotrópicos, formando áreas mais escuras e mais claras. Com a luz polarizada, as que aparentam ser mais escuras são anisotrópicas, sendo denominadas de banda A, e as mais claras, denominadas banda I (CANHOS; DIAS, 1983).

O sarcômero é a unidade contrátil do músculo, na qual os eventos morfológicos do ciclo de contração e relaxamento do músculo ocorrem. É definido como o segmento de duas linhas Z sucessivas, incluindo, portanto, uma banda A e duas metades de banda I. A banda I é composta de miofilamentos finos e, quando a fibra está em repouso, tem o comprimento de 1,0 μm , enquanto a banda A apresenta miofilamentos grossos com extensão de 1,5 μm , que, ao contrário da banda I, mantém seu comprimento sempre constante (RAMOS; GOMIDE, 2007).

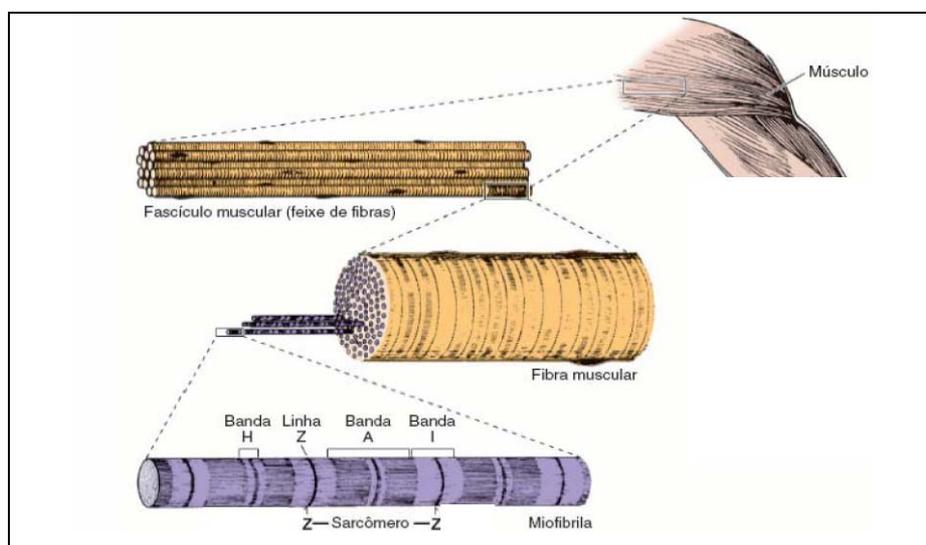


Figura 1 Estrutura do músculo esquelético

Fonte: Taylor et al. (1995)

3.2 Cor na qualidade da carne

Dentre os requisitos sensoriais, a cor é uma das características mais importantes, constituindo o primeiro impacto sobre o consumidor, despertando neste o desejo de consumir o alimento ou de rejeitá-lo, além de também fornecer

uma indicação, nem sempre correta, sobre o grau de conservação do alimento (RAMOS; GOMIDE, 2007).

A preferência para o consumo de carne bovina *in natura* é a cor vermelho-brilhante ou vermelho-cereja (WALSH; KERRY, 2002) e qualquer variação pode resultar em diminuição de vendas, reclamações ou retorno de produtos (KERRY; BUCKLEY; MORRISSEY, 2000).

Em estudo realizado, a nota visual para aparência e a probabilidade para comprar diminuíram na ordem de vermelho, púrpura e marrom. Essa observação confirma que há uma ligação próxima entre a preferência de cor e a decisão de compra, e que os consumidores preferem comprar uma carne vermelha que uma carne com a cor púrpura ou marrom (CARPENTER; CORNFORTH; WHITTIER, 2001).

3.2.1 Pigmentos da carne

O principal pigmento na carne associado com a cor é a mioglobina (Mb), sendo a hemoglobina (Hb), o pigmento do sangue, o segundo em importância. O componente cromóforo responsável pela absorção de luz e cor destes pigmentos é o grupo heme (RAMOS; GOMIDE, 2007).

De acordo com Mancini e Hunt (2005), o anel heme tem um átomo de ferro localizado centralmente, que pode formar seis ligações. O estado químico (oxidação e redução) do ferro e o composto ligado ao sexto elétron definem a cor da carne. Em condições de baixa tensão de oxigênio, o pigmento formado, deoximioglobina ou mioglobina reduzida (Mb^+) de coloração vermelho-púrpura, é o único derivado da mioglobina capaz de estabilizar sua molécula com apenas cinco ligantes ao átomo de ferro, ou seja, nenhum ligante está presente na sexta posição do ferro (RAMOS; GOMIDE, 2007).

Quando a carne é exposta ao ar, o O₂ liga-se à sexta posição do ferro da mioglobina (Mb), que se torna oxigenada, formando um composto reversível de cor vermelha brilhante, a oximioglobina (O₂Mb). Esta oxigenação é conhecida como *bloom* (MANCINI; HUNT, 2005).

A metamioglobina (MMb) tem o ferro no estado oxidado, íon férrico (Fe⁺³), de cor marrom excessivamente escura, sendo o derivado da mioglobina relacionado às características de cor da carne cozida. Entretanto, é extremamente indesejável para carnes frescas, sendo responsável pela sua descoloração sob condições de armazenamento (RAMOS; GOMIDE, 2007).

Segundo Ramos e Gomide (2007), é raro quando apenas uma dessas formas química se encontra na superfície da carne. Geralmente, duas ou mais formas estarão presentes, mas a cor resultante será aquela característica da forma química predominante.

3.3 Fatores que afetam a maciez da carne

A decisão de compra feita no mercado é influenciada pela aparência, principalmente pela cor, enquanto a satisfação dependerá somente dos atributos de qualidade da carne, como maciez, suculência e sabor (CARPENTER; CORNFORTH; WHITTIER, 2001).

Características da maciez da carne podem ser atribuídas a dois componentes do músculo: a fração miofibrilar e a fração do tecido conectivo. A maciez miofibrilar é influenciada favoravelmente pelas alterações ultraestruturais causadas tanto por métodos físicos, como amaciamento mecânico (HAYWARD et al., 1980; LYON et al., 1983), ou por métodos bioquímicos, como as atividades das enzimas endógenas (calpaínas e catepsinas) durante a maturação (KOOHMARAIE et al., 1987).

Muitas das diferenças na maciez da carne associadas à idade do animal, localização do músculo e sexo, resultam da diferença de tecido conectivo. O colágeno é a principal proteína estrutural do tecido conectivo e, embora a sua concentração no músculo afete negativamente a maciez, a sua principal contribuição à dureza da carne diz respeito à quantidade e à estabilidade das ligações cruzadas inter e intramusculares, entre as fibras. Essas ligações são responsáveis pela relativa insolubilidade e resistência do tecido conectivo (RAMOS; GOMIDE, 2007).

3.3.2 Maturação

Segundo Moraes (2004), a maturação é um processo que consiste em desossar a carne e embalar os cortes pelo sistema cry-o-vac, processo de vácuo industrial e, então, refrigerar por um período de 14 a 21 dias. A maturação da carne tem como finalidade dar condições para que alterações naturais ocorram no período *postmortem*, estocagem, influenciando de forma favorável o amaciamento, além de outros atributos significativos na palatabilidade da carne.

No processo de maturação, acondicionamento *postmortem*, a ação de enzimas proteolíticas endógenas (calpaínas e catepsinas) é a principal responsável pelas mudanças no tecido muscular. As calpaínas são responsáveis pelo amaciamento inicial, quando o pH do músculo ainda está elevado, próximo de 6,3 (RAMOS; GOMIDE, 2007). Uma das principais evidências que apontam para as calpaínas como reguladoras do processo de amaciamento é o fato que, durante o processo de maturação da carne, as calpaínas (enzimas dependentes do cálcio) degradam as proteínas miofibrilares em determinados pontos internos das moléculas, melhorando a maciez da carne (MORAES; AZEVEDO, 2003).

Quando o pH da carne diminui, a liberação gradual e a ativação de proteases lisossomais (catepsinas) contribuem para o amaciamento que ocorre na

estrutura contrátil (RAMOS; GOMIDE, 2007). Embora exista pouca proteólise das proteínas do tecido conectivo, algumas ligações cruzadas na molécula do colágeno são rompidas, possivelmente pela ação de enzimas lisossomais (LAWRIE, 2005).

3.4 Composição físico-química da carne

3.4.1 Capacidade de retenção de água (CRA)

A capacidade da carne de reter umidade durante o resfriamento, o armazenamento e a cocção é referida como a capacidade de retenção de água (CRA). A capacidade de retenção de água, um fator que determina a suculência da carne, é definida como a habilidade da carne em reter água durante a aplicação de forças externas, tais como o corte, o aquecimento, a trituração ou a pressão. Os valores para CRA em carne bovina variam entre 37,0% e 72,7% (MUCHENJEA et al., 2009).

3.4.2 Cor

A medida objetiva da cor pode ser empregada com várias finalidades, como suporte de avaliações visuais descritivas, como base para rejeição ou a aceitação do produto, para avaliar a deterioração da cor durante um período ou tratamento ou para estimar o estado químico da mioglobina e seus derivados.

Um sistema de mensuração de cor muito utilizado em diversas áreas é o espaço $L^* a^* b^*$, também conhecido como CIELAB. Neste espaço, L^* indica luminosidade e a^* e b^* são coordenadas de cromaticidade, em que o eixo $-a^*$, $+a^*$ vai de verde a vermelho e o eixo $-b^*$, $+b^*$, de azul a amarelo. Em cada uma

dessas direções (eixos a e b), quando se caminha para as extremidades, tem-se maior saturação C* (MACDOUGALL, 1994).

3.4.3 Perda de peso por cozimento (PPC)

A perda de peso por cocção (PPC) corresponde às perdas que ocorrem durante o processo de preparo da carne para o consumo, sendo calculadas de forma simples e rápida por meio da diferença entre peso inicial e peso final das amostras. As metodologias para essa determinação incluem a utilização de aparelhos, como banho-maria, forno elétrico e grelhas, apesar de alguns autores descreverem que o cozimento em banho-maria (75-80⁰C) tende a aumentar a dureza da carne (ZEOLA, 2002).

3.4.4 Potencial hidrogeniônico (pH)

A medida do potencial hidrogeniônico (pH) é utilizada para avaliar a vida de prateleira e a qualidade da carne (ZEOLA, 2002). A queda do pH e a instalação do *rigor mortis* são, segundo Korkeala et al. (1986), os fenômenos de maior importância sobre as características sensoriais da carne.

Vários fatores influenciam a variação do pH, como o tipo de músculo, a espécie, a idade, a raça, o sexo, as condições de criação (alimentação), a conservação e a estimulação elétrica (POSO; PUOLANNE, 2005).

3.4.5 Índice de fragmentação miofibrilar (IFM)

O índice de fragmentação miofibrilar é determinado com base no conceito de fragmentação e é utilizado como índice para determinar a maciez da carne. Esse procedimento reflete a intensidade da proteólise das miofibrilas

pelas enzimas endógenas. As miofibrilas submetidas ao processo de maturação têm maior degradação que aquelas de músculos intactos (DELGADO et al., 2001).

A fragmentação das miofibrilas é o resultado mais importante das alterações que ocorrem durante a transformação do músculo em carne e confere a característica de maciez à carne. O índice de fragmentação miofibrilar pode prever 50% da variação da maciez em carnes maturadas, enquanto a solubilidade do colágeno é responsável por apenas 10% da variação da maciez nos músculos (CULLER et al., 1978).

3.4.6 Força de cisalhamento (FC)

O equipamento *Warner-Bratzler shear* mede a força máxima necessária para o cisalhamento de uma amostra de carne, indicando que a grandeza da força aplicada correspondente à maior resistência ao corte (BOURNE, 1982).

A maioria dos estudos de força de cisalhamento é conduzida utilizando-se de um texturômetro acoplado a uma célula Warner Bratzler que, grosseiramente, simula a força de mastigação da carne cozida, mostrando elevada correlação com os resultados de maciez oriundos da análise sensorial da carne.

3.5 Métodos ópticos para avaliação da qualidade da carne

Uma tecnologia eficaz que possa agrupar cortes ou carcaças, com base na sensibilidade prevista, é altamente desejável na indústria da carne. Entre as várias tecnologias emergentes, os métodos ópticos têm o maior potencial de aplicações por serem rápidos, não destrutivos e de baixo custo. Muitas pesquisas

têm sido realizadas utilizando visão por computador, espectroscopia do infravermelho próximo ou de imagem (RANASINGHESAGARA et al., 2010).

Todas essas tecnologias baseiam-se no estudo da propagação da luz dentro da carne, que é fortemente modulada pela absorção óptica e propriedades de espalhamento. Portanto, atualmente, tem havido interesse em medidas de espalhamento óptico, principalmente na caracterização da maciez da carne (XIA et al., 2007).

Quanto à aplicação da espectroscopia na previsão da qualidade da carne, maior atenção tem sido dada à estimativa de maciez (RODBOTTEN; NILSEN; HILDRUM, 2000), à perda de peso por gotejamento (GEESINK et al., 2003), à cor (LEROY et al., 2003) e ao pH (MONIN, 1998).

3.6 Biospeckle ou speckle dinâmico

A utilização do speckle na área biológica tem sido uma linha de grande potencial. Contudo, nem todas as aplicações foram desenvolvidas completamente, bem como ainda não se conseguiu mapear todas suas reais viabilidades (RABAL; BRAGA, 2008).

O speckle dinâmico, também conhecido como biospeckle, é o resultado da geração de padrões de interferência formados quando uma amostra biológica é irradiada por uma luz coerente, como uma fonte de laser, permitindo o monitoramento de atividades relacionadas aos diversos fenômenos físico-químicos presentes em um tecido biológico (RABAL; BRAGA, 2008).

Na Figura 2 está ilustrado o fenômeno do speckle estático formado em uma folha de papel branca iluminada com um laser HeNe de 632 nm. Dessa forma, ocorre a mudança dos dispersores de luz que causam este fenômeno de interferência, do ponto de vista da câmera digital; os grãos claros e escuros do padrão vão mudar de forma e intensidade de cinza, fazendo com que este padrão

estático se transforme em algo dinâmico, que pode ser relacionado a um fervilhamento. É o grau de mudança destes padrões que é mensurado para se criar o nível de atividade, que é um parâmetro adimensional.

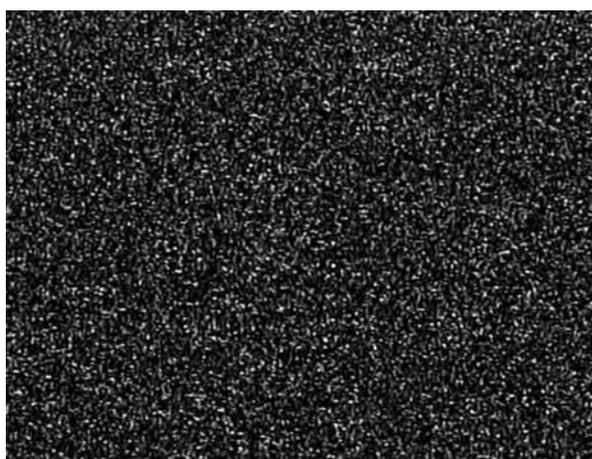


Figura 2 Padrão speckle formado por uma folha branca de papel iluminada com um laser
Fonte: Nobre (2008)

Na literatura é possível observar uma série de aplicações desta técnica em casos como o monitoramento de maturidade e *bruising* em frutos (PAJUELO et al., 2003; RABELO et al., 2005), a identificação de fungos em sementes (BRAGA et al., 2005), o monitoramento da mobilidade em sêmen animal (CARVALHO et al., 2009) ou o acompanhamento do crescimento de raízes em cultura de tecidos (BRAGA et al., 2009). Aplicações na medicina também são observadas na literatura, normalmente avaliando a perfusão sanguínea como em trabalhos de monitoramento de fluxo sanguíneo em retina (FUJII et al., 1985), entre muitos outros.

3.7 Técnicas de processamento das imagens do biospeckle laser

Por ser dinâmico, o biospeckle deve ser analisado com técnicas de processamento de imagem e tratamento estatístico, uma vez que a observação visual direta não permite quantificá-lo (RABAL; BRAGA, 2008). São vários os métodos de análise do speckle dinâmico. Entre eles, destacam-se o Momento de Inércia, o Método do Contraste e a Autocorrelação, como ferramentas que apresentam resultados numéricos. Entre os métodos que apresentam resultados visuais, podem-se destacar o Fujii e Diferenças Generalizadas (DG).

3.7.1 História temporal do padrão do speckle (THSP)

A análise numérica dos padrões de speckle no tempo, em sua maioria, com exceção para o Contraste de Briers (BRIERS, 1975), utiliza a história temporal de um ou mais pixels. Uma dessas abordagens propõe a adoção da história temporal do padrão de speckle (THSP0, que é uma matriz formada por uma coleção de pixels no tempo, representada na Figura 3 (ARIZAGA et al., 1999; OULAMARA; TRIBBILLON; DEVERNOY, 1989; XU et al., 1995).

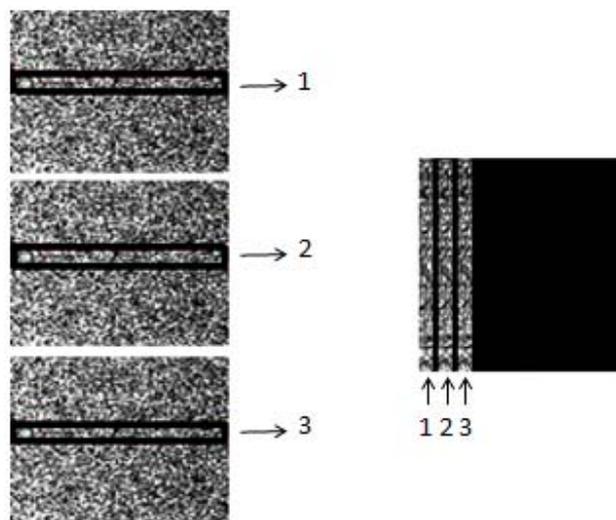


Figura 3 História temporal do padrão do speckle (THSP)
 Fonte: Arizaga et al. (1999)

Na THSP, as colunas representam diferentes pontos no objeto e suas linhas, o nível de intensidade de cada pixel no tempo (OULAMARA; TRIBILLON; DUVERNOY, 1989; XU et al., 1995). Nesse caso, se ocorreu alguma mudança no material, ela será transmitida para a dinâmica do speckle formado e, conseqüentemente, a linha observada será diferente da anterior. Essa é uma forma de avaliar o nível de atividade de uma amostra biológica, pois, se o resultado apresentar uma figura completamente distorcida, é sinal de que o movimento está intenso (Figura 4b). Por outro lado, se a figura formada for composta por linhas bem definidas, significa que não está ocorrendo mudança na formação do speckle de uma imagem para a outra, repetindo o nível de cinza da imagem anterior (Figura 4a) (BRAGA JÚNIOR, 2000).

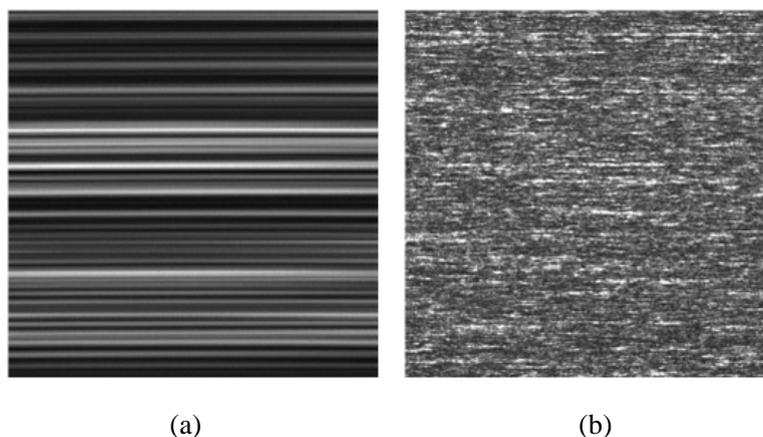


Figura 4 (a) THSP da amostra com baixa atividade e (b) THSP da amostra com alta atividade

Fonte: Nieri (2005)

Considerando que o THSP carrega informações da atividade do material sob estudo, cada tipo de material apresenta um diferente. Isso pode ser percebido por meio de inspeção visual, porém, valores numéricos são necessários para efeito de comparação por meio de processos artificiais objetivos. Dessa forma, torna-se necessário transformar essa imagem em um número ou índice de quantificação, para permitir a diferenciação dos objetos que apresentam níveis de atividades distintos (RABELO et al., 2005).

A maioria das técnicas descritas na literatura baseia-se na obtenção de um único valor numérico a partir do THSP. O valor pode ser obtido por meio da Matriz de Ocorrência e do Momento de Inércia (ARIZAGA et al., 1999).

O processo de cálculo do Momento de Inércia transforma o THSP em uma Matriz de Ocorrência denominada "cooccurrence matrix" (MOC), que é definida como

$$MOC = [N_{ij}] \quad (1)$$

em que

MOC: Matriz de ocorrências

N_{ij} : número de ocorrências de intensidades;

i: i-ésima linha da MOC, com valores de intensidade entre 0 e 255;

j: j-ésima coluna da MOC, com valores de intensidade entre 0 e 255.

Nessa equação, N_{ij} representa uma lógica que identifica quantas vezes ocorreu a intensidade i, seguida da intensidade j e, em uma matriz de 256 x 256 (representando os níveis de cinza em 8 bits que variam de 0 a 255), faz-se o cômputo de todas as ocorrências (BRAGA JÚNIOR, 2000).

De acordo com Arizaga et al. (1999), para normalizar a matriz de ocorrências, cada valor é dividido pelo número total de ocorrências de cada linha na imagem, como representa a Equação 2. Dessa forma, o somatório de todas as ocorrências em cada linha torna-se igual à unidade, resultando em uma matriz de ocorrências modificada.

$$M_{ij} = \left(\frac{N_{ij}}{\sum N_{ij}} \right) \quad (2)$$

em que

N_{ij} : número de ocorrências de intensidades sucessivas

Cardoso e Braga (2011) apresentou uma nova normalização cuja matriz de ocorrência (MOC) inteira é igual a 1, como mostrado na Equação 3, com a

finalidade de obter um melhor ajuste dos dados reduzindo o coeficiente de variação entre as amostras ao longo do tempo.

$$MI'_{ij} = \frac{MOC_{ij}}{\sum_{i,j} MOC_{ij}} \quad (3)$$

Uma vez montada a MOC, observa-se que a diagonal principal está relacionada com intensidades que não variaram no tempo, enquanto fora da mesma aparecem as ocorrências que caracterizam uma mudança no tempo. Dessa forma, quanto mais afastada da diagonal principal estiver a ocorrência, maior a mudança na intensidade do pixel i para o pixel j . Assim, com a Matriz de Ocorrência, é possível analisar o nível de alteração do speckle observado no tempo (BRAGA JÚNIOR, 2000). Essa observação pode ser facilitada com a representação gráfica das ocorrências como mostrado nas Figuras 5 e 6.

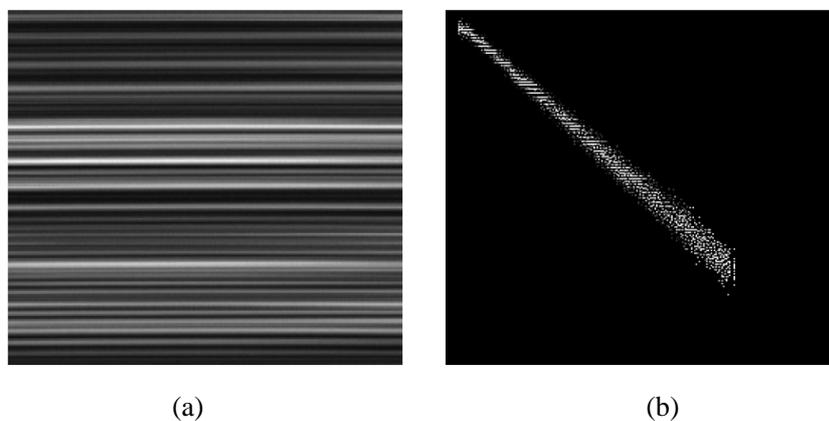


Figura 5 (a) THSP e (b) MOC da amostra com baixa atividade
Fonte: Nieri (2005)

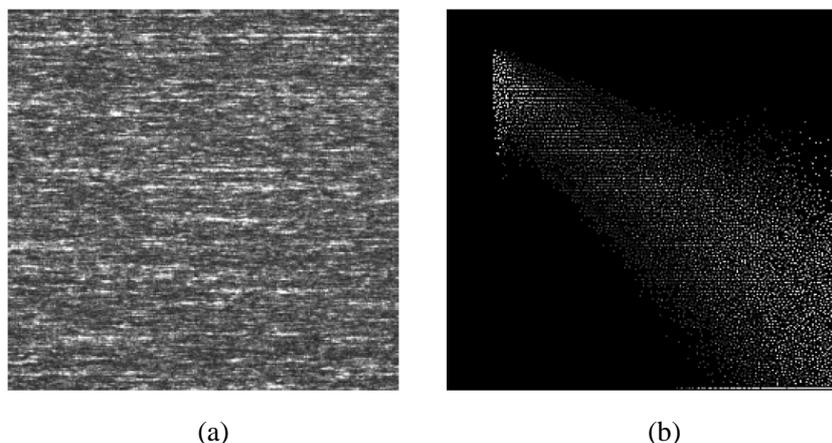


Figura 6 (a) THSP e (b) MOC da amostra com alta atividade
 Fonte: Nieri (2005)

3.7.2 Momento de Inércia (MI)

Segundo Arizaga et al. (1999), uma medida da dispersão dos valores ao redor da diagonal principal com essa característica pode ser construída como a soma dos valores da MOC vezes o quadrado da distância do ponto da MOC em análise até a diagonal principal. Este é um momento de segunda ordem particularmente chamado de Momento de Inércia, cujo valor pode, então, ser encontrado de acordo com a Equação 4:

$$MI = \left(MOC[i, j] \times (i - j)^2 \right) \quad (4)$$

MI: valor do Momento de Inércia;

MOC[i, j]: matriz de ocorrência;

i: i-ésima linha da MOC, com valores de intensidade entre 0 e 255;

j: j-ésima coluna da MOC, com valores de intensidade entre 0 e 255.

As ocorrências na diagonal principal não contribuem para aumentar o valor do Momento de Inércia, enquanto as entradas mais distantes adicionam seus valores ao resultado final (ARIZAGA et al., 1999).

Cardoso e Braga (2011) analisou o Momento de Inércia sem normalização (MI_{IIJ}), o Momento de Inércia com normalização convencional (MI_{ARI}) e os Momentos de Inércia com as novas propostas de normalizações (MI e AVD), a fim de verificar os Momentos de Inércia que apresentam um menor coeficiente de variação entre as amostras ao longo do tempo. De acordo com os resultados observados, o MI_{IIJ} sem normalização apresentou alto coeficiente de variação entre as amostras, enquanto o Momento de Inércia com AVD apresentou baixo e estável coeficiente de variação. A capacidade de manter a repetibilidade dos dados deve ser testada de acordo com o material analisado.

Portanto, valores identificados como MI e AVD são relativos à nova proposta de normalização da MOC realizada por Cardoso e Braga (2011), sendo que o termo AVD relaciona-se à proposta de Braga et al. (2011) sobre o uso do valor absoluto (módulo) no cálculo do Momento de Inércia em vez da tradicional operação ao quadrado referente ao termo MI. O termo MI_{IIJ} é relativo ao cálculo do Momento de Inércia sem normalização da MOC e os valores identificados como MI_{ARI} e AVD_{ARI} são relacionados ao cálculo do Momento de Inércia com a presença da normalização da MOC proposta por Arizaga et al. (1999). O termo MI_{ARI} apresenta a tradicional operação ao quadrado na fórmula do Momento de Inércia e o termo AVD_{ARI} é relativo ao valor absoluto no cálculo do Momento de Inércia.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a execução do trabalho foi realizado, inicialmente, o experimento piloto e, depois, o experimento principal. O experimento principal teve um maior número de repetições por tempo, ficando suas análises físico-químicas limitadas às análises que foram correlacionadas no experimento piloto.

A maturação da carne e a condução das análises de avaliação da qualidade foram realizadas no Laboratório de Tecnologia e Qualidade de Carne, no Departamento de Ciências dos Alimentos (DCA) da Universidade Federal de Lavras (UFLA). A técnica do biospeckle laser e seus métodos de processamento de imagens foram realizados no Laboratório 5 do Centro de Desenvolvimento de Instrumentação aplicada à Agropecuária (CEDIA), no Departamento de Engenharia (DEG) da UFLA.

4.1 Experimento piloto

Contrafilés (*Longissimus thoracis*) bovinos foram obtidos, após 24 horas de abate, de frigorífico com SIF na região de Lavras, MG. Como a maciez é altamente variável, em função da genética, do manejo e do músculo, entre outros fatores, o número de repetições ficou limitado às quantidades de bifés proporcionados pelo corte de um animal. Portanto, do corte foram obtidos 32 bifés, sendo 16 com 1 cm de espessura e 16 com cerca de 2 cm de espessura, os quais foram individualmente embalados a vácuo, em polietileno de alta resistência, e maturados, pelos períodos de 0, 2, 4, 6, 10, 14, 17, 21 dias, em câmara climatizada tipo BOD (modelo EL202, EletroLab), com temperatura controlada (2 °C).

Após a maturação referente a cada tempo, 2 bifés de 1 cm de espessura foram removidos e analisados por biospeckle laser, cor objetiva, pH, índice de

fragmentação miofibrilar (IFM) e capacidade de retenção de água (CRA). Nos outros 2 bifes, foi realizada a análise do biospeckle laser e, posteriormente, estes foram congelados e mantidos armazenados, a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, até que se procedessem às análises de perda de peso por cozimento (PPC) e força de cisalhamento (FC).

Durante a condução da análise do biospeckle laser, foram realizadas 5 iluminações em pontos diferenciados de cada bife e obtida a média, a fim de garantir a atividade biológica representativa de toda amostra, já que a região de análise do laser é cerca de 2 cm de diâmetro. As iluminações foram realizadas com as amostras embaladas (MIJ), imediatamente após desembaladas (MIJdes) e após exposição ao ar atmosférico por 30 minutos (MIJ30m), para oxigenação (*blooming*).

4.2 Experimento principal

Contrafilés (*Longissimus thoracis*) bovinos foram obtidos, após 24 horas de abate, de frigorífico com SIF na região de Lavras, MG. O corte foi previamente higienizado e sanitizado em solução de ácido láctico 1%. Do corte foram retirados 30 bifes, com cerca de 2 cm de espessura, os quais foram embalados individualmente em polietileno de alta resistência, a vácuo e maturados pelos períodos de 0, 5, 10, 15, 21 dias, em câmara climatizada tipo BOD (modelo EL202, EletroLab), com temperatura controlada ($1\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Após a maturação referente a cada tempo, os bifes foram removidos e analisados somente pelas análises que obtiveram correlações significativas no experimento piloto, como biospeckle laser, cor objetiva e pH, sendo posteriormente congelados e armazenados à temperatura de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, até que se procedessem às análises de perda de peso por cozimento (PPC) e força de cisalhamento (FC).

Durante a análise do biospeckle laser, foram realizadas 5 iluminações em pontos diferenciados de cada bife e obtido a média, a fim de garantir a atividade biológica representativa de toda a amostra. As iluminações foram realizadas com as amostras embaladas e desembaladas após exposição ao ar atmosférico, por 30 minutos, para oxigenação (*blooming*).

4.3 Metodologias

4.3.1 Perda de peso por cozimento (PPC)

A perda de peso por cozimento foi avaliada segundo a metodologia descrita por Ramos e Gomide (2007). Amostras removidas da embalagem foram pesadas em balança semianalítica e grelhadas por um dos lados, utilizando uma grelha Grill Mega (Britânica), pré-aquecida a 150 °C. Por meio de termômetro digital tipo penetração, foi realizado o controle da temperatura interna até alcançar 40 °C, sendo as amostras, então, viradas e o outro lado foi grelhado até a temperatura interna atingir 71 °C. Após o cozimento, os bifes foram esfriados, à temperatura ambiente, secos com papel toalha e novamente pesados. A perda por cozimento (PPC) foi expressa como porcentagem em relação ao peso inicial.

4.3.2 Força de cisalhamento (FC)

A força de cisalhamento (FC) foi determinada segundo protocolo da American Meat Science Association (AMSA) para avaliação da maciez objetiva em músculo *Longissimus thoracis*, com adaptações descritas por Rodrigues (2007). As amostras provenientes da determinação da perda de peso por cozimento (PPC) foram cortadas com faca. O corte foi realizado paralelamente à orientação das fibras musculares, em amostras 1 x 1 cm² de área, evitando

amostras com aponeuroses ou gorduras. Foram utilizados, pelo menos, cinco retângulos de cada amostra.

A força de cisalhamento foi mensurada com auxílio de um texturômetro modelo TAXT2, acoplado à lâmina Warner Bratzler, sendo a amostra cisalhada transversalmente à direção das fibras musculares, utilizando a velocidade no pré e pós-teste de $5,0 \text{ mm.s}^{-1}$ e velocidade de teste de $3,3 \text{ mm.s}^{-1}$.

A força de cisalhamento (FC) máxima foi obtida e relacionada à maciez da amostra, sendo os resultados expressos em kgf.

4.3.3 Cor instrumental

Para análise da cor instrumental foi utilizado um colorímetro espectrofotométrico CM-5 (Kônica Minolta), com porta de abertura de 30 mm, sendo estabelecido o iluminante A, o ângulo de 10° para o observador, luz especular excluída (SCE) e o sistema de cor CIELAB.

No momento de análise, os bifos foram desembalados e mantidos em exposição ao ar atmosférico por 30 minutos, quando os índices de cor L^* , a^* e b^* foram obtidos considerando o valor médio de dez leituras realizadas na superfície exposta.

Os índices de saturação (C^*) e o ângulo de tonalidade (h^*) foram calculados pelas Equações 5 e 6.

$$C^* = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})} \quad (5)$$

$$h^* = (\tan^{-1}(b^*/a^*)) \quad (6)$$

Simultaneamente às leituras da cor objetiva, foram avaliadas as mudanças no estado químico da mioglobina ao longo do período de maturação. Os parâmetros utilizados para mensuração no colorímetro espectrofotométrico CM-5 (Kônica Minolta), foram os mesmos para a cor objetiva, exceto o uso da reflectância especular incluída (SCI) ao invés da reflectância especular excluída (SCE).

Para cálculo do conteúdo relativo dos pigmentos heme oximioglobina (O_2Mb), mioglobina reduzida (Mb^+) e metamioglobina (MMb) na carne foi utilizado o método matemático de Krzywicki (1979), descrito por Ramos e Gomide (2007), utilizando o espectro de reflectância obtido entre 400 e 730 nm, em intervalos de 10 nm, sendo os valores intermediários (473, 525 e 572 nm) calculados por interpolação linear.

4.3.4 Medida de pH

As leituras de pH foram realizadas nos músculos *Longissimus thoracis*, com ajuda de um potenciômetro portátil DM 20 (Digimed). Em cada músculo foram realizadas três medidas e a média foi utilizada na análise estatística.

4.3.5 Capacidade de retenção de água (CRA)

Para a análise da capacidade de retenção de água (CRA) foram pesadas, em balança semianalítica, porções entre 0,2 g a 0,3 g do músculo *Longissimus thoracis*. Estas porções foram submetidas a um peso de 2 kg e, após cinco minutos, foram novamente pesadas em balança semianalítica e o resultado expresso em porcentagem de perda de peso em relação ao peso inicial.

4.3.6 Índice de fragmentação miofibrilar (IFM)

O índice de fragmentação miofibrilar (IFM) da carne foi determinado pelo método de turbidez, proposto originalmente por Davey e Gilbert (1969), com modificações descritas por Ramos e Gomide (2007). Quatro gramas do músculo foram homogeneizados em Politron (Tecnal), por 30 segundos, com 40 mL de solução tampão de extração, sendo, em seguida, centrifugados em Centrífuga Hettich (EBA 21), a 1.000 g por 15 minutos, a 4 °C. O sobrenadante foi descartado e o precipitado foi disperso com 40 mL da solução de extração e novamente centrifugado, a 1.000 g por 15 minutos, a 4 °C. O precipitado foi ressuspensão na solução de extração, filtrado em peneira de polietileno (18 mesh) e a concentração de proteína determinada pelo método do Biureto. Uma alíquota da suspensão de miofibrilas foi então diluída com a solução de extração, até uma concentração proteica de $0,5 \pm 0,05$ mg/mL, quando foi feita a leitura da densidade ótica, a 540 nm, em espectrofotômetro tipo CARY 50 *Varian*.

Para a obtenção do índice de fragmentação miofibrilar (IFM), o valor obtido de densidade ótica a 540 nm foi multiplicado por 200.

4.3.7 Biospeckle laser

As amostras de carnes foram iluminadas com uma luz coerente e os padrões de interferência formados pela interação da luz com o material estudado foram capturados por uma câmera CCD. A luz coerente utilizada foi um laser de HeNe, comprimento de onda de 632 nm, potência de 10 mW, ampliadas por um conjunto de lentes suficientes para cobrir toda a amostra, com a configuração experimental conhecida como *backscattering*, como mostrado na Figura 7.

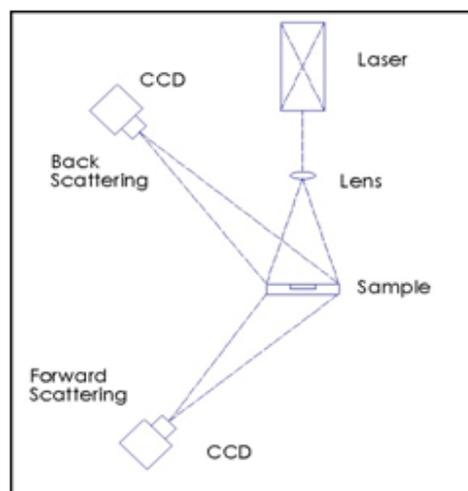


Figura 7 Configuração experimental do biospeckle laser

Para a coleta das imagens com os padrões de interferência, foi utilizada uma câmera CCD de 640 x 486 pixels, com um conjunto obturador de 1/60 s. O ângulo entre o feixe do laser com a câmera CCD foi ajustado de forma a obter imagens com o mínimo de reflexões da luz e o maior contraste das imagens. Em cada sessão de iluminação foi armazenado um conjunto de 128 imagens em níveis de cinza (8 bits) relativas aos speckle dinâmico, em intervalos de 0,08 segundos.

A análise das imagens, provenientes da iluminação das amostras pelo laser, foi realizada por meio da construção da THSP e da obtenção do MI (ARIZAGA et al., 1999).

O processamento das imagens para o cálculo do Momento de Inércia no experimento piloto foi realizado por meio do software ImageJ, obtendo um valor referente ao Momento de Inércia (MIJ) sem a presença da normalização da matriz de ocorrência (MOC).

No experimento principal buscou-se validar novas abordagens propostas por Cardoso e Braga (2011), por meio da melhoria no método de Momento de

Inércia, basicamente mudando a normalização da MOC. Portanto, foram obtidos, durante o processamento de cada conjunto de 128 frames no software MATLAB, cinco valores de Momento de Inércia (MI, MIIJ, MI_ARI, AVD, AVD_ARI), a fim de verificar qual valor cuja normalização se ajuste melhor aos dados.

4.4 Delineamento estatístico

O delineamento foi inteiramente casualizado (DIC), sendo os resultados analisados pela ANOVA, considerando 5% de significância, e interpretados por meio da correlação dos parâmetros estudados, cujos coeficientes foram testados pelo teste t de Student. Todas as análises foram conduzidas pelo software Statistica 5.0 (Statsoft).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Experimento piloto

5.1.1 Parâmetros de maciez

A estatística descritiva dos resultados obtidos para os parâmetros de maciez e biospeckle está apresentada na Tabela 1 e os resultados das correlações do biospeckle com os mesmos parâmetros estudados estão representados na Tabela 2.

Tabela 1 Análise descritiva simples dos resultados observados no experimento

| | N | Teste F (tempo) | Média | Desvio padrão | Mínimo | Máximo |
|------------|----|--------------------|-------|------------------|--------|--------|
| pH | 16 | 0,4311 | 5,58 | 0,08 | 5,47 | 5,78 |
| IFM (%) | 16 | 0,0100 | 36,73 | 17,87 | 20,93 | 87,13 |
| CRA (%) | 16 | 0,0189 | 76,63 | 6,00 | 66,67 | 86,90 |
| PPC (%) | 16 | 0,1995 | 20,19 | 4,40 | 12,61 | 27,86 |
| FC (kgf) | 16 | 0,0202 | 5,68 | 1,58 | 3,82 | 9,62 |
| MIIJ | 16 | 0,0501 | 22,76 | 8,82 | 9,65 | 60,78 |
| MIIJ (des) | 16 | 0,0462 | 22,49 | 12,03 | 10,80 | 74,27 |
| MIIJ (30m) | 16 | < 0,0001 | 20,64 | 7,05 | 9,29 | 36,58 |

pH = potencial hidrogeniônico; IFM = índice de fragmentação miofibrilar; CRA = capacidade de retenção de água; PPC = perda de peso por cozimento; FC = força de cisalhamento; MIIJ = momento de inércia da carne embalada; MIIJ (des) = momento de inércia da carne imediatamente desembalada; MIIJ (30m) = momento de inércia da carne desembalada e exposta ao ar atmosférico por 30 minutos

Tabela 2 Coeficientes de correlação de Pearson dos parâmetros de maciez estudados em relação às leituras no biospeckle laser (n=16)

| Variáveis | MIIJ | | MIIJ (des) | | MIIJ (30m) | |
|-----------|----------------|--------------|---------------|--------------|----------------|--------------|
| | Coefficiente | P | Coefficiente | P | Coefficiente | P |
| Tempo | -0,6600 | 0,005 | -0,4370 | 0,091 | -0,7584 | 0,001 |
| pH | -0,5286 | 0,035 | -0,3811 | 0,145 | -0,6391 | 0,008 |
| IFM | -0,0870 | 0,749 | -0,2120 | 0,430 | -0,2516 | 0,347 |
| CRA | 0,3879 | 0,138 | 0,0349 | 0,898 | 0,3732 | 0,155 |
| PPC | -0,0618 | 0,834 | 0,0232 | 0,937 | -0,3766 | 0,184 |
| FC | 0,5492 | 0,042 | 0,1199 | 0,683 | 0,7204 | 0,004 |

pH = potencial hidrogeniônico; IFM = índice de fragmentação miofibrilar; CRA = capacidade de retenção de água; PPC = perda de peso por cozimento; FC = força de cisalhamento; MIIJ = momento de inércia da carne embalada; MIIJ (des) = momento de inércia da carne imediatamente desembalada; MIIJ (30m) = momento de inércia da carne desembalada e exposta ao ar atmosférico por 30 minutos

Os resultados obtidos demonstram que o biospeckle laser associado à análise quantitativa do Momento de Inércia foi capaz de se correlacionar com as mudanças ocorridas no processo de maturação ao longo do tempo, especialmente com os parâmetros pH e força de cisalhamento (FC).

Para estas variáveis, nas análises do biospeckle laser realizadas com as amostras embaladas (MIIJ) e desembaladas e expostas por um tempo de 30 minutos (MIIJ 30m) obtiveram-se resultados significativos, ao contrário da análise feita com a amostra desembalada sem tempo prévio de exposição ao ar ambiente (MIIJ des). Como o biospeckle relaciona-se com a atividade presente no material, é provável que a ausência de correlação imediatamente após a remoção da embalagem seja devido às interferências oriundas de mudanças químicas dos pigmentos relativos da carne com a oxigenação, apresentando um período transitório.

As menores correlações significativas observadas para a MIIJ quando comparadas a MIIJ (30m), foram caracterizadas pela presença da embalagem. Como o biospeckle laser é uma figura de interferência formada a partir do espalhamento óptico, processo este denominado de *scattering*, é provável que

parte das informações tenha ficado retida pela presença da embalagem que funcionou como filtro das atividades biológicas ocorridas nas amostras. Embora a correlação obtida com a carne embalada tenha apresentado menor correlação, a robustez da técnica é suficiente para ser usada sem a necessidade da abertura da embalagem.

Possivelmente, o biospeckle laser conseguiu estimar a atividade biológica proveniente da ação das enzimas endógenas da carne (calpaínas e catepsinas) responsáveis pelo processo de maturação, por meio da sua correlação com as análises de pH e FC, embora não tenha se correlacionado com o IFM, que mede justamente esta atividade (RAMOS; GOMIDE, 2007). A correlação não significativa do IFM pode ser atribuída à alta sensibilidade da técnica do biospeckle laser, visto que mudanças no comprimento do sarcômero durante o processo de maturação, embora sejam consideradas irrelevantes, também devem ser analisadas.

A forte e significativa correlação entre o biospeckle laser e as análises, como pH (Gráfico 1) e FC (Gráfico 2), sugere o grande potencial no uso desta técnica para predizer a maciez da carne bovina. No entanto, como este parâmetro de qualidade é influenciado por vários outros fatores (raça, criação, músculo, etc.) além da maturação, estudos com maiores unidades amostrais, bem como análises bioquímicas e estruturais detalhadas, devem ser conduzidos, para melhor entender os mecanismos envolvidos.

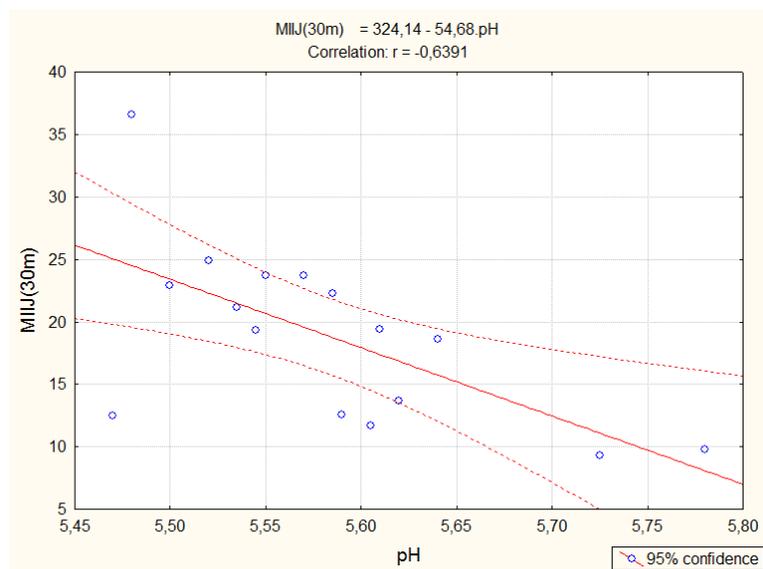


Gráfico 1 Correlação do biospeckle analisado após exposição da carne ao ar atmosférico, por 30 minutos (MIJ 30m) com os valores de pH da carne

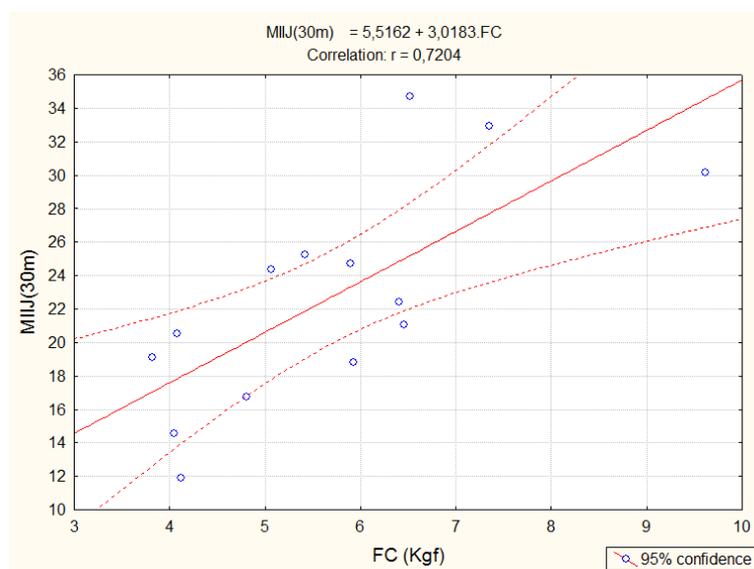


Gráfico 2 Correlação do biospeckle analisado após exposição da carne ao ar atmosférico, por 30 minutos (MIIJ 30m) com os valores de força de cisalhamento (FC) da carne

5.1.2 Parâmetros de cor

A estatística descritiva dos resultados obtidos para os parâmetros de cor e biospeckle é apresentada na Tabela 3. O biospeckle laser, associado à análise quantitativa do Momento de Inércia, se correlacionou significativamente ($P < 0,05$) com mudanças de alguns parâmetros de cor e de formas químicas da mioglobina ocorridas no processo de maturação (Tabela 4).

Tabela 3 Análise descritiva simples dos resultados observados no experimento

| | N | Teste F (tempo) | Média | Desvio padrão | Mínimo | Máximo |
|-----------------------|----|-----------------|-------|---------------|--------|--------|
| L | 16 | < 0,0001 | 35,67 | 1,50 | 32,81 | 38,29 |
| a* | 16 | < 0,0001 | 16,01 | 4,11 | 9,24 | 22,56 |
| b* | 16 | 0,0005 | 10,86 | 1,73 | 8,58 | 14,84 |
| C* | 16 | < 0,0001 | 19,47 | 3,86 | 13,77 | 27,00 |
| h* | 16 | < 0,0001 | 35,07 | 7,30 | 26,64 | 47,94 |
| MMb (%) | 16 | < 0,0001 | 0,37 | 0,09 | 0,26 | 0,54 |
| Mb ⁺ (%) | 16 | 0,0048 | 0,16 | 0,10 | 0,08 | 0,49 |
| O ₂ Mb (%) | 16 | 0,0055 | 0,47 | 0,11 | 0,24 | 0,63 |
| MIIJ | 32 | 0,1656 | 22,76 | 8,82 | 9,65 | 60,78 |
| MIIJ (des) | 32 | 0,0036 | 22,49 | 12,03 | 10,80 | 74,27 |
| MIIJ (30m) | 32 | 0,0259 | 20,64 | 7,05 | 9,29 | 36,58 |

L* = luminosidade; a* = índice de vermelho; b* = índice de amarelo; C* = saturação; h* = ângulo de tonalidade; O₂Mb = oximioglobina; Mb⁺ = mioglobina reduzida; e MMb = metamioglobina; MIIJ = momento de inércia da carne embalada; MIIJ (des) = momento de inércia da carne imediatamente desembalada; MIIJ (30m) = momento de inércia da carne desembalada e exposta ao ar atmosférico por 30 minutos

Tabela 4 Coeficientes de correlação de Pearson dos parâmetros de cor estudados em relação às leituras no biospeckle laser (n=16)

| Variáveis | MIJ | | MIJ (des) | | MIJ (30m) | |
|-----------------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|
| | Coefficiente | P | Coefficiente | P | Coefficiente | P |
| Tempo | -0,6600 | 0,005 | -0,4370 | 0,091 | -0,7584 | 0,001 |
| L* | -0,2705 | 0,311 | -0,6337 | 0,008 | -0,2271 | 0,398 |
| a* | 0,4749 | 0,063 | 0,4855 | 0,057 | 0,6752 | 0,004 |
| b* | -0,1944 | 0,471 | -0,0235 | 0,931 | -0,0419 | 8,78 |
| C* | 0,3601 | 0,171 | 0,4130 | 0,112 | 0,5676 | 0,022 |
| h* | -0,6574 | 0,006 | -0,5287 | 0,035 | -0,7929 | 0,000 |
| MMb (%) | -0,6324 | 0,009 | -0,5220 | 0,038 | -0,7872 | 0,000 |
| Mb ⁺ (%) | 0,3891 | 0,136 | 0,1288 | 0,635 | 0,4908 | 0,054 |
| O ₂ Mb (%) | 0,1731 | 0,522 | 0,3180 | 0,230 | 0,2095 | 0,436 |

L* = luminosidade; a* = índice de vermelho; b* = índice de amarelo; C* = saturação; h* = ângulo de tonalidade; O₂Mb = oximioglobina; Mb⁺ = mioglobina reduzida; e MMb = metamioglobina; MIJ = momento de inércia da carne embalada; MIJ (des) = momento de inércia da carne imediatamente desembalada; MIJ (30m) = momento de inércia da carne desembalada e exposta ao ar atmosférico por 30 minutos

De todos os parâmetros de cor analisados, destaca-se a alta correlação dos resultados dos Momentos de Inércia com a tonalidade (h*) (Gráfico 3) e o percentual de metamioglobina (MMb) (Gráfico 4), uma vez que ambos são extremamente importantes na avaliação da qualidade da cor de carnes (RAMOS; GOMIDE, 2007): o primeiro por corresponder à cor ou tonalidade (vermelho, amarelo, etc.) da amostra e o segundo, por corresponder à mudança química indesejável da oximioglobina (vermelho brilhante) à metamioglobina (marrom), também diretamente relacionada à cor da carne, e mais especificamente à aceitação da cor pelo consumidor. Dessa forma, o biospeckle laser foi capaz de acompanhar as mudanças na tonalidade de cor da carne e, possivelmente, inferir sobre a quantidade de metamioglobina presente.

Segundo Ramos e Gomide (2007), a carne fresca exposta ao oxigênio, usualmente, possui as três formas químicas principais (O_2Mb , MMb e Mb^+), mas, enquanto a O_2Mb predominar na superfície, a cor da carne será vermelho-brilhante. Entretanto, se 60% dos pigmentos de uma área particular se oxidarem a MMb , essa área aparecerá marrom.

Embora a análise de cor no colorímetro tenha sido realizada somente com as amostras desembaladas e expostas à temperatura ambiente por 30 minutos (*blooming*), a leitura no biospeckle laser apresentou altas correlações, independentemente de a amostra ter sido avaliada embalada ou não. Isto sugere um grande potencial no uso desta técnica para prever informações sobre a tonalidade e o teor de metamioglobina da carne após desembalada e exposta ao ar atmosférico, por 30 minutos, sem a necessidade da abertura da embalagem e exposição ao ar.

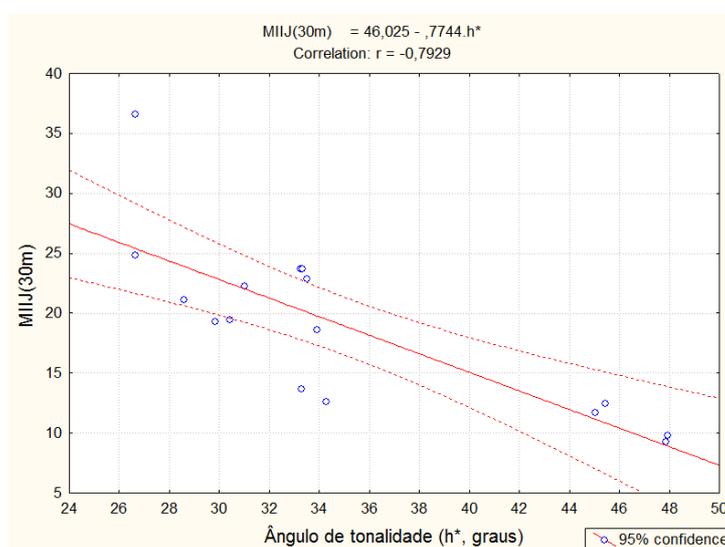


Gráfico 3 Correlação do biospeckle analisado após exposição da carne ao ar atmosférico, por 30 minutos (MIJ 30m), com os valores do ângulo de tonalidade h^* da carne

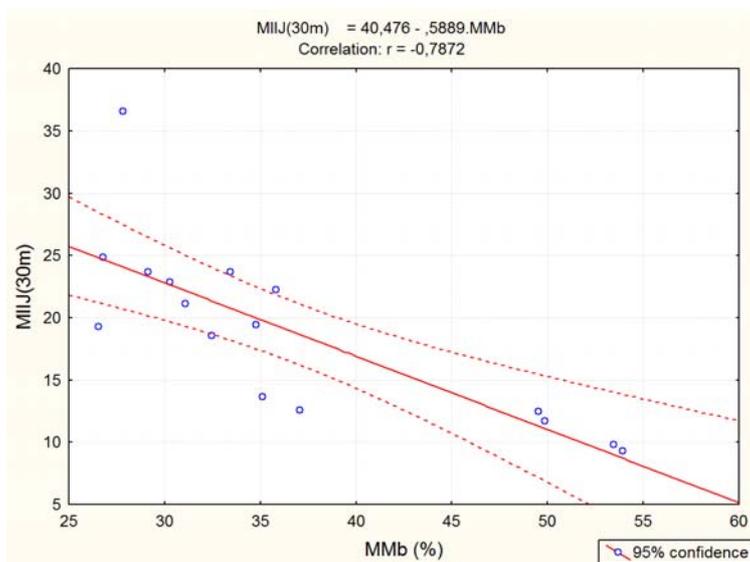


Gráfico 4 Correlação do biospeckle analisado após exposição da carne ao ar atmosférico, por 30 minutos (MIJ 30m), com os valores da metamioglobina (MMb) da carne

5.2 Experimento principal

5.2.1 Força de cisalhamento

A estatística descritiva dos resultados obtidos para a força de cisalhamento (FC) e biospeckle está apresentada na Tabela 5, e os resultados das correlações estão representados na Tabela 6.

Tabela 5 Análise descritiva simples dos resultados observados no experimento

| | N | Teste F (tempo) | Média | Desvio padrão | Mínimo | Máximo |
|--------------|----|--------------------|--------|------------------|--------|--------|
| FC (kgf) | 30 | 0,0004 | 5,05 | 1,09 | 3,62 | 8,27 |
| MIIJ | 30 | 0,0034 | 116,92 | 32,47 | 62,72 | 165,01 |
| MI | 30 | <0,0001 | 32,13 | 10,97 | 16,93 | 61,27 |
| AVD | 30 | <0,0001 | 4,27 | 0,72 | 3,06 | 5,74 |
| MI_ARI | 30 | 0,0002 | 101,70 | 23,70 | 63,73 | 150,16 |
| AVD_ARI | 30 | <0,0001 | 530,05 | 132,70 | 332,45 | 845,73 |
| MIIJ(30m) | 30 | 0,0304 | 113,84 | 30,65 | 62,29 | 178,19 |
| MI(30m) | 30 | <0,0001 | 27,90 | 7,90 | 13,49 | 40,73 |
| AVD(30m) | 30 | <0,0001 | 4,01 | 0,63 | 2,69 | 4,97 |
| MI_ARI(30m) | 30 | 0,0002 | 95,19 | 22,19 | 58,78 | 131,08 |
| AVD_ARI(30m) | 30 | 0,0014 | 499,32 | 111,83 | 343,46 | 716,21 |

FC = força de cisalhamento; MIIJ = momento de inércia da carne embalada sem normalização da MOC; MI = momento de inércia da carne embalada com normalização da MOC e operação ao quadrado do momento de inércia; AVD = momento de inércia da carne embalada com normalização da MOC e valor absoluto do momento de inércia; MI_ARI = momento de inércia da carne embalada com normalização da MOC e operação ao quadrado do momento de inércia; AVD_ARI = momento de inércia da carne embalada com normalização da MOC e valor absoluto do momento de inércia; MIIJ (30m) = momento de inércia da carne desembalada e exposta ao ar atmosférico por 30 minutos sem normalização da MOC; MI (30m) = momento de inércia da carne desembalada e exposta ao ar atmosférico por 30 minutos com normalização da MOC e operação ao quadrado do momento de inércia; AVD (30m) = momento de inércia da carne desembalada e exposta ao ar atmosférico por 30 minutos com normalização da MOC e valor absoluto do momento de inércia; MI_ARI (30m) = momento de inércia da carne desembalada e exposta ao ar atmosférico por 30 minutos com normalização da MOC e operação ao quadrado do momento de inércia; AVD_ARI (30m) = momento de inércia da carne desembalada e exposta ao ar atmosférico por 30 minutos com normalização da MOC e valor absoluto do momento de inércia

Tabela 6 Coeficientes de correlação de Pearson dos parâmetros tempo e FC estudados em relação às leituras no biospeckle laser (n=30)

| Variáveis | Tempo | | FC | |
|----------------|----------------|--------------|----------------|--------------|
| | Coefficiente | P | Coefficiente | P |
| MIIJ | 0,6774 | 0,000 | -0,6619 | 0,000 |
| MI | -0,8320 | 0,000 | 0,5669 | 0,003 |
| AVD | -0,8644 | 0,000 | 0,5926 | 0,002 |
| MI_ARI | -0,7574 | 0,000 | 0,4507 | 0,024 |
| AVD_ARI | -0,7876 | 0,000 | 0,6752 | 0,000 |
| MIIJ (30 m) | 0,3814 | 0,060 | -0,4701 | 0,018 |
| MI (30 m) | -0,8527 | 0,000 | 0,6174 | 0,001 |
| AVD (30m) | -0,8597 | 0,000 | 0,6158 | 0,001 |
| MI_ARI (30 m) | -0,7553 | 0,000 | 0,5630 | 0,003 |
| AVD_ARI (30 m) | -0,7195 | 0,000 | 0,4981 | 0,011 |

FC = força de cisalhamento; MIIJ = momento de inércia da carne embalada sem normalização da MOC; MI = momento de inércia da carne embalada com normalização da MOC e operação ao quadrado do momento de inércia; AVD = momento de inércia da carne embalada com normalização da MOC e valor absoluto do momento de inércia; MI_ARI = momento de inércia da carne embalada com normalização da MOC e operação ao quadrado do momento de inércia; AVD_ARI = momento de inércia da carne embalada com normalização da MOC e valor absoluto do momento de inércia; MIIJ (30m) = momento de inércia da carne desembalada e exposta ao ar atmosférico por 30 minutos sem normalização da MOC; MI (30m) = momento de inércia da carne desembalada e exposta ao ar atmosférico por 30 minutos com normalização da MOC e operação ao quadrado do momento de inércia; AVD (30m) = momento de inércia da carne desembalada e exposta ao ar atmosférico por 30 minutos com normalização da MOC e valor absoluto do momento de inércia; MI_ARI (30m) = momento de inércia da carne desembalada e exposta ao ar atmosférico por 30 minutos com normalização da MOC e operação ao quadrado do momento de inércia; AVD_ARI (30m) = momento de inércia da carne desembalada e exposta ao ar atmosférico por 30 minutos com normalização da MOC e valor absoluto do momento de inércia

Novamente, os resultados demonstram a correlação entre o biospeckle laser e a força de cisalhamento (FC), durante o processo de maturação da carne ao longo do tempo. No Gráfico 5 observa-se a correlação da força de cisalhamento com o Momento de Inércia AVD_ARI da amostra embalada e, no Gráfico 6, a correlação do Momento de Inércia AVD_ARI (30m) da amostra desembalada e exposta ao ar atmosférico por 30 minutos.

Para a análise dos dados da força de cisalhamento, o Momento de Inércia com a normalização da matriz de ocorrência AVD_ARI apresentou um melhor ajuste dos dados referente à carne embalada, embora, para a análise da carne desembalada e exposta ao ar por 30 minutos, o MI e o AVD tenham obtido as melhores correlações.

O estudo mostra que as propriedades ópticas de espalhamento (*scattering*) da luz de um laser apresentam grande potencial para fornecer informações valiosas sobre as características físico-químicas da carne que são responsáveis por sua maciez.

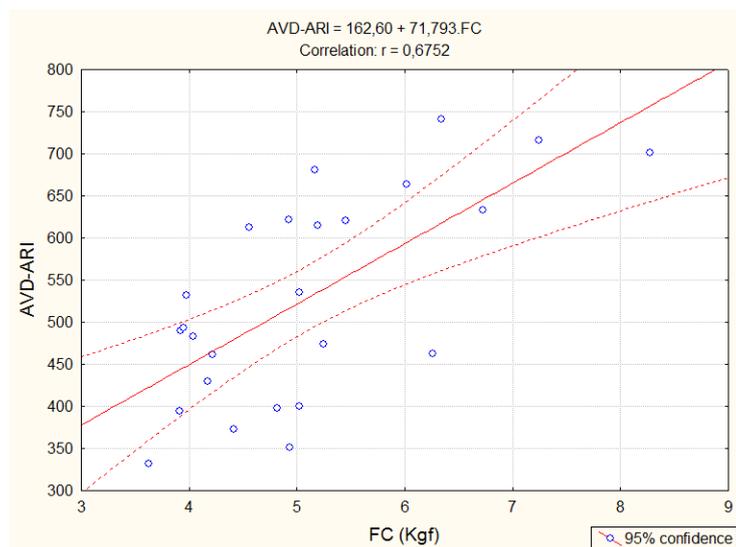


Gráfico 5 Correlação do biospeckle da carne embalada (AVD_ARI) analisado com os valores de força de cisalhamento (FC) da carne

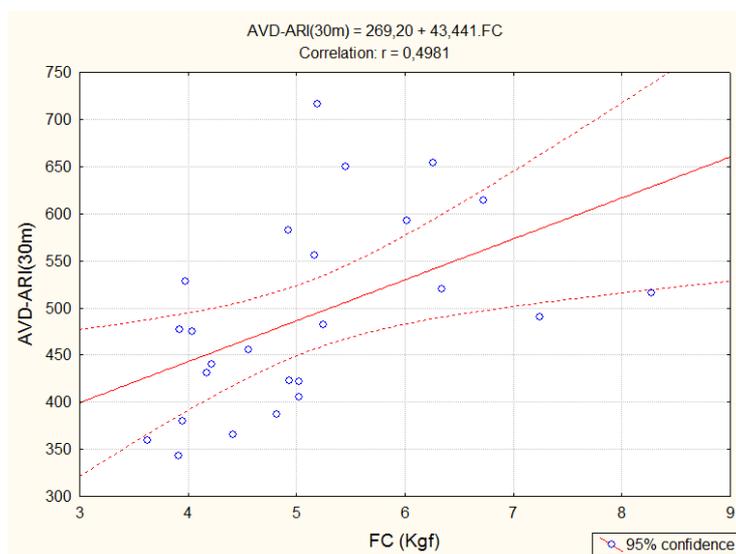


Gráfico 6 Correlação do biospeckle analisado após exposição da carne em ar atmosférico por 30 minutos AVD_ARI (30m) com os valores de força de cisalhamento (FC) da carne

No Gráfico 7 observa-se o comportamento da maciez da carne, expressa em força de cisalhamento, ao longo do tempo de maturação.

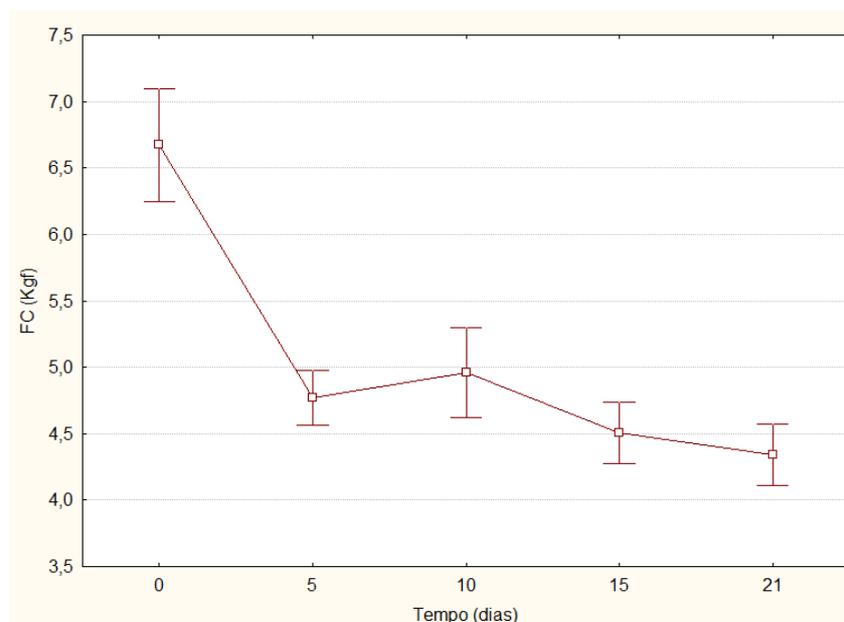


Gráfico 7 Variação da força de cisalhamento (FC) da carne ao longo dos 21 dias de maturação. Barras representam o erro padrão da média.

5.2.2 Parâmetros de cor

A estatística descritiva dos resultados obtidos para os parâmetros de cor, formas químicas da mioglobina e biospeckle é apresentada na Tabela 7. O biospeckle laser, associado à análise quantitativa do Momento de Inércia, apresenta correlação significativa com as mudanças nos parâmetros de cor (Tabela 8) e formas químicas da mioglobina (Tabela 9) ocorridas no processo de maturação.

Tabela 7 Análise descritiva simples dos resultados observados no experimento

| | N | Teste F (tempo) | Média | Desvio padrão | Mínimo | Máximo |
|-----------------------|----|-----------------|--------|---------------|--------|--------|
| L* | 30 | 0,0902 | 42,62 | 1,58 | 40,10 | 46,9 |
| a* | 30 | <0,0001 | 15,51 | 4,08 | 6,8 | 22,86 |
| b* | 30 | <0,0001 | 17,55 | 14,16 | 6,64 | 48,26 |
| C* | 30 | <0,0001 | 24,91 | 11,94 | 9,50 | 49,97 |
| h* | 30 | <0,0001 | 42,31 | 16,95 | 25,85 | 76,03 |
| MMb (%) | 30 | <0,0001 | 37,22 | 12,71 | 21,94 | 56,12 |
| Mb ⁺ (%) | 30 | <0,0001 | 12,98 | 7,25 | 2,60 | 30,49 |
| O ₂ Mb (%) | 30 | <0,0001 | 49,80 | 12,57 | 32,39 | 68,83 |
| MIIJ | 30 | 0,0034 | 116,92 | 32,47 | 62,72 | 165,01 |
| MI | 30 | <0,0001 | 32,13 | 10,97 | 16,93 | 61,27 |
| AVD | 30 | <0,0001 | 4,27 | 0,72 | 3,06 | 5,74 |
| MI_ARI | 30 | 0,0002 | 101,70 | 23,70 | 63,73 | 150,16 |
| AVD_ARI | 30 | <0,0001 | 530,05 | 132,70 | 332,45 | 845,73 |
| MIIJ(30m) | 30 | 0,0304 | 113,84 | 30,65 | 62,29 | 178,19 |
| MI(30m) | 30 | <0,0001 | 27,90 | 7,90 | 13,49 | 40,73 |
| AVD(30m) | 30 | <0,0001 | 4,01 | 0,63 | 2,69 | 4,97 |
| MI_ARI(30m) | 30 | 0,0002 | 95,19 | 22,19 | 58,78 | 131,08 |
| AVD_ARI(30m) | 30 | 0,0014 | 499,32 | 111,83 | 343,46 | 716,21 |

L* = luminosidade; a* = índice de vermelho; b* = índice de amarelo; C* = saturação; h* = ângulo de tonalidade; O₂Mb = oximioglobina; Mb⁺ = mioglobina reduzida; e MMb = metamioglobina; MIIJ = momento de inércia da carne embalada sem normalização da MOC; MI = momento de inércia da carne embalada com normalização da MOC e operação ao quadrado do momento de inércia; AVD = momento de inércia da carne embalada com normalização da MOC e valor absoluto do momento de inércia; MI_ARI = momento de inércia da carne embalada com normalização da MOC e operação ao quadrado do momento de inércia; AVD_ARI = momento de inércia da carne embalada com normalização da MOC e valor absoluto do momento de inércia; MIIJ (30m) = momento de inércia da carne desembalada e exposta ao ar atmosférico por 30 minutos sem normalização da MOC; MI (30m) = momento de inércia da carne desembalada e exposta ao ar atmosférico por 30 minutos com normalização da MOC e operação ao quadrado do momento de inércia; AVD (30m) = momento de inércia da carne desembalada e exposta ao ar atmosférico por 30 minutos com normalização da MOC e valor absoluto do momento de inércia; MI_ARI (30m) = momento de inércia da carne desembalada e exposta ao ar atmosférico por 30 minutos com normalização da MOC e operação ao quadrado do momento de inércia; AVD_ARI (30m) = momento de inércia da carne desembalada e exposta ao ar atmosférico por 30 minutos com normalização da MOC e valor absoluto do momento de inércia

Tabela 8 Coeficientes de correlação de Pearson dos parâmetros de cor (L*, a*, b*, C*, h*) em relação às leituras no biospeckle laser (n=30)

| Variáveis | L* | | a* | | b* | | C* | | h* | |
|----------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|---------|-------|----------------|--------------|
| | Coef. | P | Coef. | P | Coef. | P | Coef. | P | Coef. | P |
| MIIJ | -0,347 | 0,089 | -0,5508 | 0,004 | 0,2655 | 0,200 | 0,1070 | 0,611 | 0,4924 | 0,012 |
| MI | -0,423 | 0,035 | 0,6625 | 0,000 | -0,4316 | 0,031 | -0,2493 | 0,230 | -0,6870 | 0,000 |
| AVD | -0,391 | 0,053 | 0,7410 | 0,000 | -0,4701 | 0,018 | -0,2707 | 0,191 | -0,7423 | 0,000 |
| MI_ARI | -0,378 | 0,062 | 0,6995 | 0,000 | -0,3694 | 0,069 | -0,1821 | 0,384 | -0,6410 | 0,001 |
| AVD_ARI | -0,245 | 0,239 | 0,7127 | 0,000 | -0,4529 | 0,023 | -0,2651 | 0,200 | -0,6932 | 0,000 |
| MIIJ (30 m) | 0,2765 | 0,181 | -0,2504 | 0,227 | 0,0348 | 0,869 | -0,0534 | 0,800 | 0,1872 | 0,370 |
| MI (30 m) | -0,4197 | 0,037 | 0,7843 | 0,000 | -0,5069 | 0,010 | -0,2980 | 0,148 | -0,7845 | 0,000 |
| AVD (30 m) | -0,4140 | 0,040 | 0,7934 | 0,000 | -0,5298 | 0,006 | -0,3204 | 0,118 | -0,8051 | 0,000 |
| MI_ARI (30 m) | -0,2849 | 0,167 | 0,6353 | 0,001 | -0,4578 | 0,021 | -0,2849 | 0,167 | -0,6850 | 0,000 |
| AVD_ARI (30 m) | -0,3158 | 0,124 | 0,6476 | 0,000 | -0,3902 | 0,054 | -0,2176 | 0,296 | -0,6266 | 0,001 |

L* = luminosidade; a* = índice de vermelho; b* = índice de amarelo; C* = saturação; h* = ângulo de tonalidade; MIIJ = momento de inércia da carne embalada sem normalização da MOC; MI = momento de inércia da carne embalada com normalização da MOC e operação ao quadrado do momento de inércia; AVD = momento de inércia da carne embalada com normalização da MOC e valor absoluto do momento de inércia; MI_ARI = momento de inércia da carne embalada com normalização da MOC e operação ao quadrado do momento de inércia; AVD_ARI = momento de inércia da carne embalada com normalização da MOC e valor absoluto do momento de inércia; MIIJ (30m) = momento de inércia da carne desembalada e exposta ao ar atmosférico por 30 minutos sem normalização da MOC; MI (30m) = momento de inércia da carne desembalada e exposta ao ar atmosférico por 30 minutos com normalização da MOC e operação ao quadrado do momento de inércia; AVD (30m) = momento de inércia da carne desembalada e exposta ao ar atmosférico por 30 minutos com normalização da MOC e valor absoluto do momento de inércia; MI_ARI (30m) = momento de inércia da carne desembalada e exposta ao ar atmosférico por 30 minutos com normalização da MOC e operação ao quadrado do momento de inércia; AVD_ARI (30m) = momento de inércia da carne desembalada e exposta ao ar atmosférico por 30 minutos com normalização da MOC e valor absoluto do momento de inércia

Nos Gráficos 8 e 10 observa-se a correlação do Momento de Inércia AVD com o ângulo de tonalidade h^* e o índice de vermelho (a^*) da amostra embalada e, nos Gráficos 9 e 11, a correlação do Momento de Inércia da amostra desembalada e exposta ao ar atmosférico por 30 minutos AVD (30m) com o ângulo de tonalidade h^* e o índice de vermelho (a^*).

Foi possível obter correlações referentes à intensidade de cor amarelo (b^*) e, principalmente, a intensidade de cor vermelho (a^*), as quais indicam que, além de a ferramenta conseguir perceber e quantificar as mudanças de cor como um todo, por meio do ângulo de tonalidade h^* , é capaz de quantificar as mudanças de cor referentes à intensidade de cor vermelho, bem como a intensidade de cor amarela.

Em relação aos parâmetros de cor estudados, observa-se a alta correlação do ângulo de tonalidade h^* com o biospeckle laser, o que faz dele uma ferramenta capaz de perceber e quantificar as mudanças de cor ou tonalidade de vermelho e amarelo que ocorrem na carne ao longo do processo de maturação.

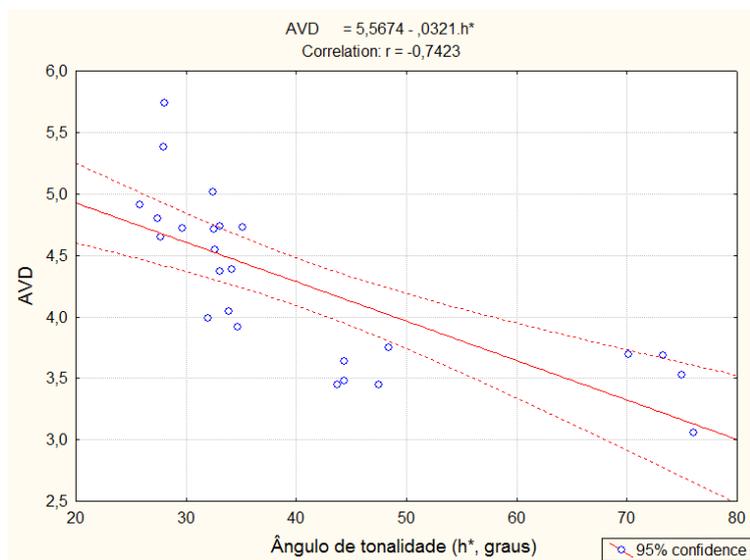


Gráfico 8 Correlação do biospeckle da carne embalada (AVD) com os valores do ângulo de tonalidade h* da carne

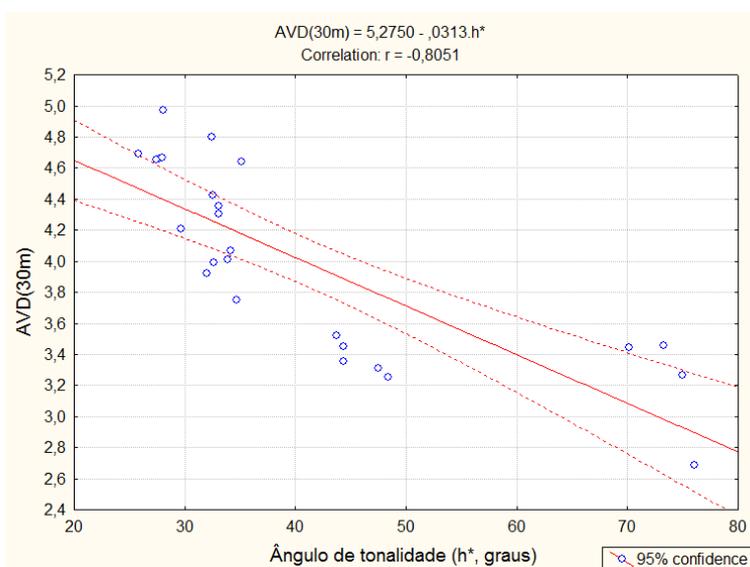


Gráfico 9 Correlação do biospeckle analisado após exposição da carne em ar atmosférico por 30 minutos (AVD 30m) com os valores do ângulo de tonalidade h* da carne

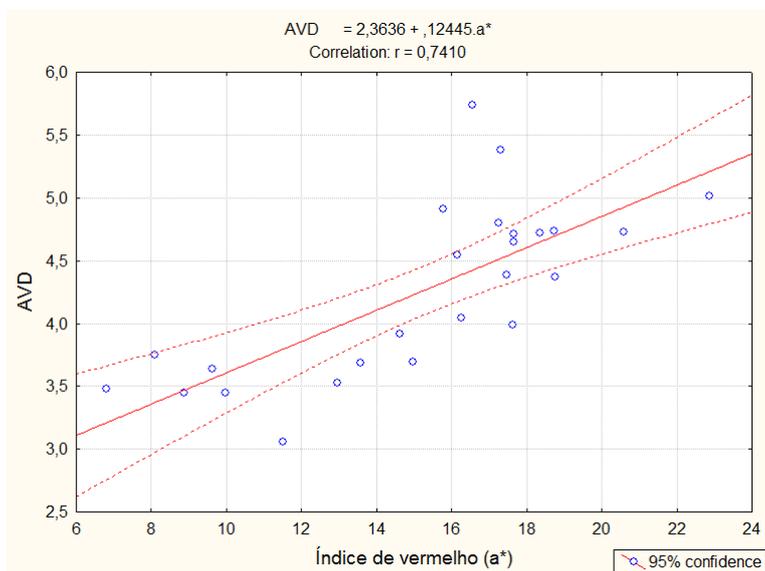


Gráfico 10 Correlação do biospeckle da carne embalada (AVD) com os valores do índice de vermelho a* da carne

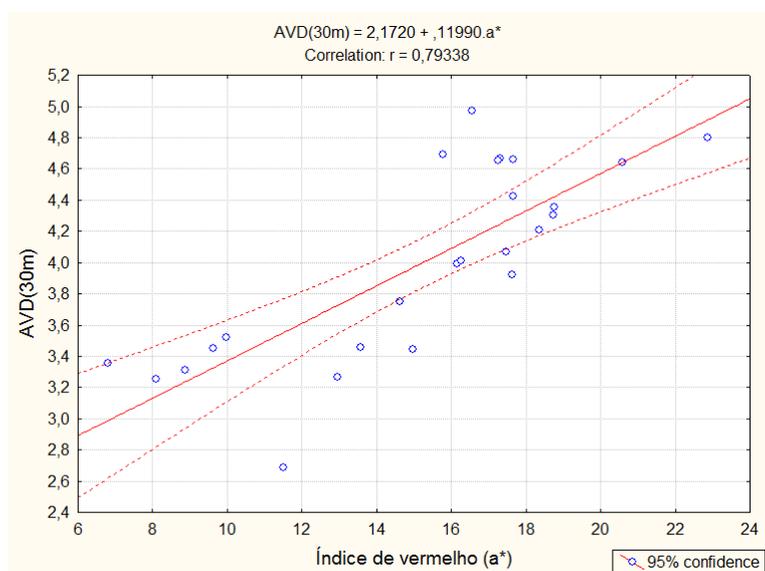


Gráfico 11 Correlação do biospeckle analisado após exposição da carne ao ar atmosférico por 30 minutos (AVD 30m) com os valores do índice de vermelho a* da carne

No Gráfico 12 pode-se observar a variação dos parâmetros de cor, luminosidade L, índice de vermelho a^* e índice de amarelo b^* , ao longo do tempo de maturação e, no Gráfico 13, a variação dos parâmetros de cor, saturação C^* e ângulo de tonalidade h^* , ao longo do tempo de maturação.

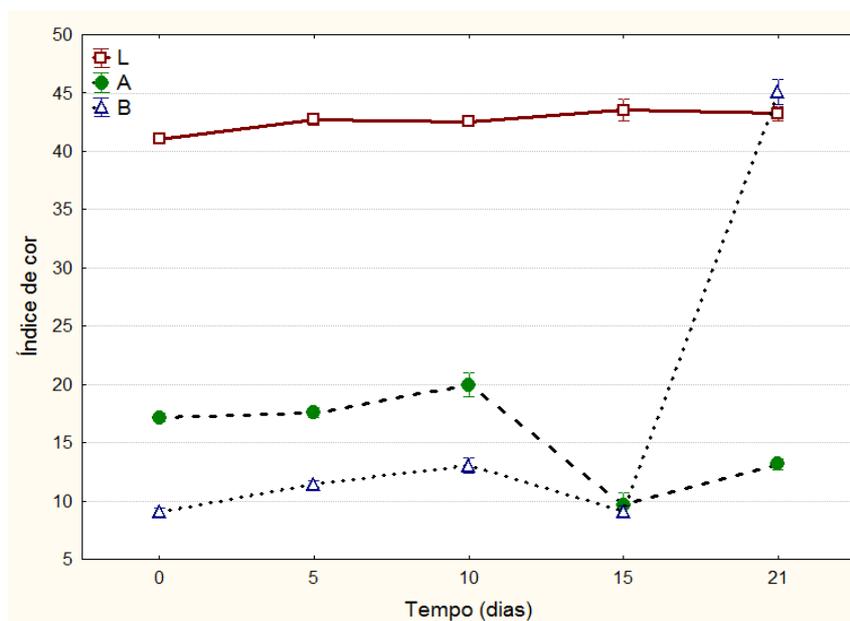


Gráfico 12 Variação dos parâmetros de cor L, a^* , b^* da carne, ao longo dos 21 dias de maturação. Barras representam o erro padrão da média

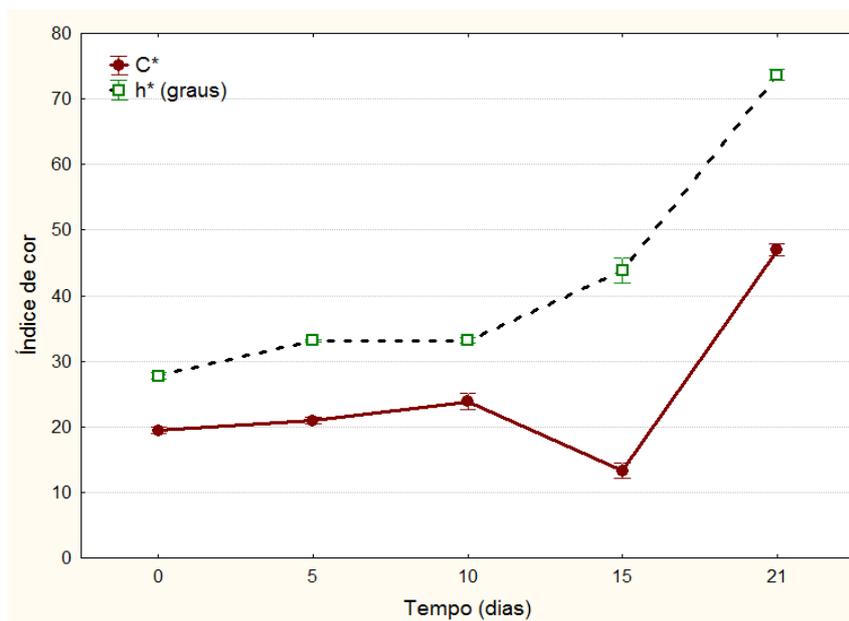


Gráfico 13 Variação dos parâmetros de cor C* e h* da carne, ao longo dos 21 dias de maturação. Barras representam o erro padrão da média

Na Tabela 9 apresentam-se os resultados das correlações do biospeckle laser, por meio dos valores de Momentos de Inércia, com os pigmentos metamioglobina (MMb), mioglobina reduzida (Mb^+) e oximioglobina (O_2Mb).

Tabela 9 Coeficientes de correlação de Pearson dos pigmentos (MMb, Mb⁺, O₂Mb) estudados em relação às leituras no biospeckle laser (n=30)

| Variáveis | MMb | | Mb ⁺ | | O ₂ Mb | |
|----------------|----------------|--------------|-----------------|--------------|-------------------|--------------|
| | Coef. | P | Coef. | P | Coef. | P |
| MIIJ | 0,6256 | 0,001 | -0,3940 | 0,051 | -0,3940 | 0,051 |
| MI | -0,8382 | 0,000 | 0,5006 | 0,110 | 0,5472 | 0,005 |
| AVD | -0,8919 | 0,000 | 0,4367 | 0,029 | 0,6407 | 0,001 |
| MI_ARI | -0,8195 | 0,000 | 0,3323 | 0,105 | 0,6309 | 0,001 |
| AVD_ARI | -0,8057 | 0,000 | 0,2977 | 0,148 | 0,6379 | 0,001 |
| MIIJ (30 m) | 0,3268 | 0,111 | -0,5605 | 0,004 | 0,0098 | 0,963 |
| MI (30 m) | -0,9116 | 0,000 | 0,3820 | 0,060 | 0,6942 | 0,000 |
| AVD (30 m) | -0,9232 | 0,000 | 0,3563 | 0,080 | 0,7217 | 0,000 |
| MI_ARI (30 m) | -0,7917 | 0,000 | 0,4334 | 0,030 | 0,5408 | 0,005 |
| AVD_ARI (30 m) | -0,7716 | 0,000 | 0,2916 | 0,157 | 0,6070 | 0,001 |

O₂Mb = oximioglobina; Mb⁺ = mioglobina reduzida; e MMb = metamioglobina; MIIJ = momento de inércia da carne embalada sem normalização da MOC; MI = momento de inércia da carne embalada com normalização da MOC e operação ao quadrado do momento de inércia; AVD = momento de inércia da carne embalada com normalização da MOC e valor absoluto do momento de inércia; MI_ARI = momento de inércia da carne embalada com normalização da MOC e operação ao quadrado do momento de inércia; AVD_ARI = momento de inércia da carne embalada com normalização da MOC e valor absoluto do momento de inércia; MIIJ (30m) = momento de inércia da carne desembalada e exposta ao ar atmosférico por 30 minutos sem normalização da MOC; MI (30m) = momento de inércia da carne desembalada e exposta ao ar atmosférico por 30 minutos com normalização da MOC e operação ao quadrado do momento de inércia; AVD (30m) = momento de inércia da carne desembalada e exposta ao ar atmosférico por 30 minutos com normalização da MOC e valor absoluto do momento de inércia; MI_ARI (30m) = momento de inércia da carne desembalada e exposta ao ar atmosférico por 30 minutos com normalização da MOC e operação ao quadrado do momento de inércia; AVD_ARI (30m) = momento de inércia da carne desembalada e exposta ao ar atmosférico por 30 minutos com normalização da MOC e valor absoluto do momento de inércia

Nos Gráficos 14 e 16 observa-se a correlação do Momento de Inércia AVD com a quantidade de metamioglobina (MMb) e oximioglobina (O₂Mb) da amostra embalada e, nos Gráficos 15 e 17, a correlação do Momento de Inércia da amostra desembalada e exposta ao ar atmosférico por 30 minutos AVD (30m) com a quantidade de metamioglobina (MMb) e oximioglobina (O₂Mb).

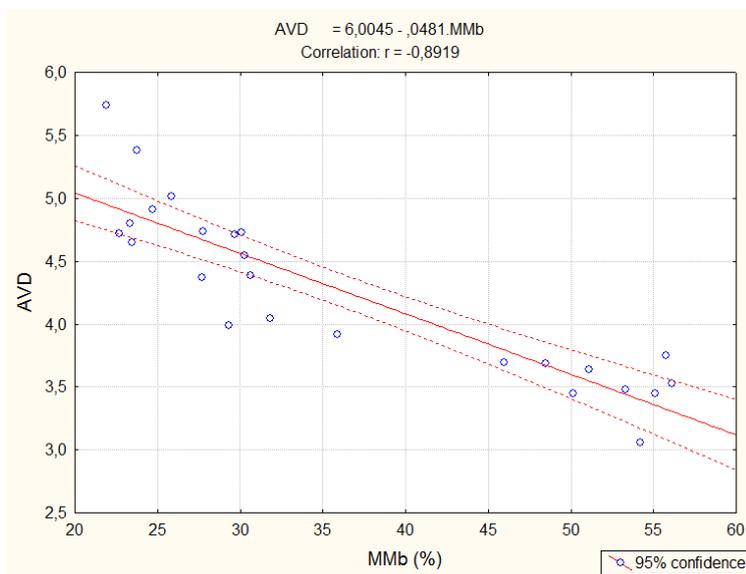


Gráfico 14 Correlação do biospeckle da carne embalada (AVD) com os valores de metamioglobina (MMb) da carne

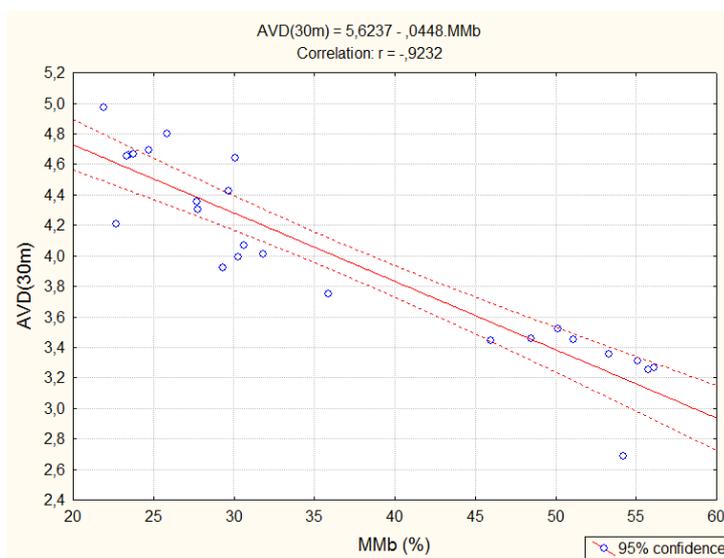


Gráfico 15 Correlação do biospeckle analisado após exposição da carne em ar atmosférico por 30 minutos (AVD 30m) com os valores de metamioglobina (MMb) da carne

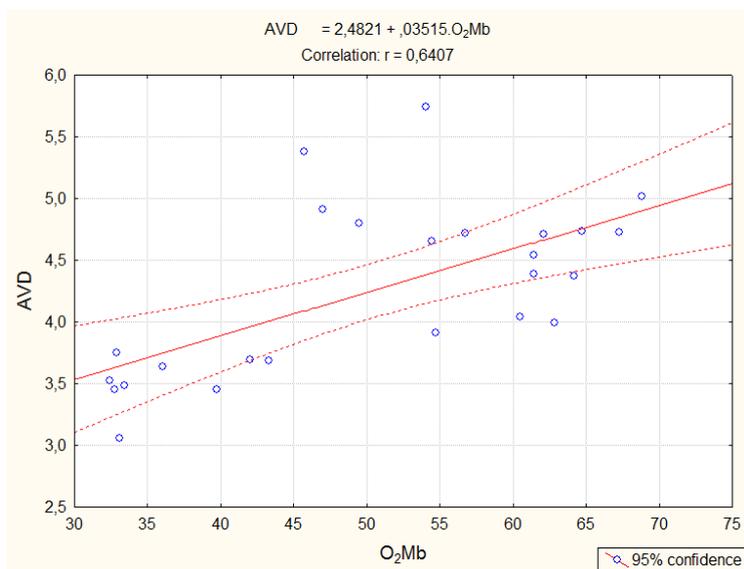


Gráfico 16 Correlação do biospeckle da carne embalada (AVD) com os valores de oximioglobina (O₂Mb) da carne

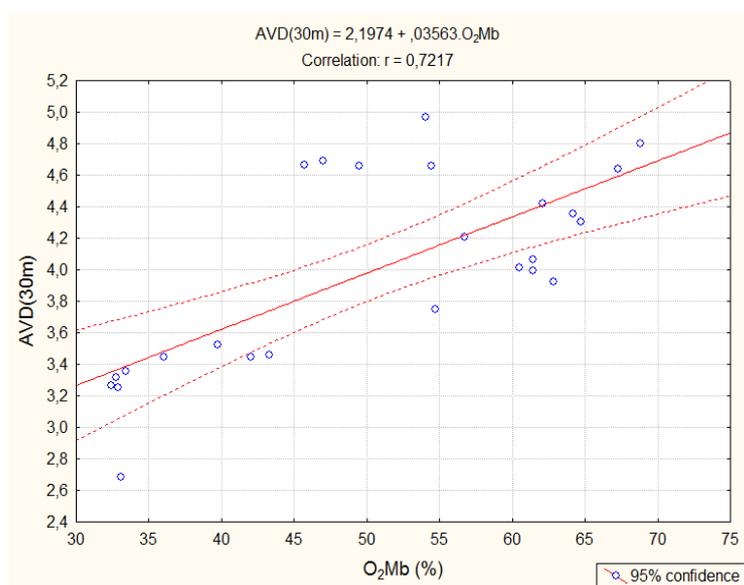


Gráfico 17 Correlação do biospeckle analisado após exposição da carne em ar atmosférico por 30 minutos (AVD 30m) com os valores de oximioglobina (O₂Mb) da carne

De acordo com os resultados obtidos, houve menor correlação referente ao Momento de Inércia sem normalização (MIJ), apresentando melhorias nos resultados dos Momentos de Inércia que obtiveram a normalização na fórmula da matriz de ocorrência (MOC). Tal fato justifica a importância da normalização da matriz de ocorrência (MOC), durante o processamento de imagens.

As normalizações MI, MI_ARI e AVD_ARI proporcionaram uma melhoria na redução do coeficiente de variação das amostras, melhorando as correlações, tendo a normalização AVD sido proposta por Cardoso e Braga (2011), que obteve um melhor ajuste dos dados e, conseqüentemente, uma maior correlação. Essas conquistas tornam a técnica do biospeckle mais robusta e segura na predição das características físico-químicas presentes no processo de maturação da carne bovina.

No Gráfico 18 observa-se o comportamento das formas químicas da mioglobina, metamioglobina (MMb), mioglobina reduzida (Mb^+) e oximioglobina (O_2Mb), ao longo do tempo de maturação da carne bovina.

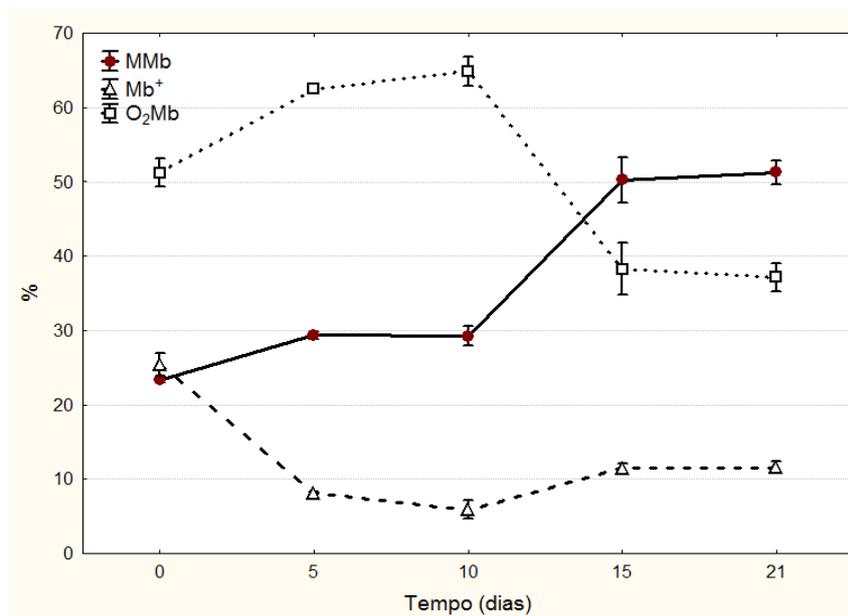


Gráfico 18 Variação da metamioglobina (MMb), metamioglobina reduzida (Mb⁺) e oximioglobina (O₂Mb) da carne, ao longo dos 21 dias de maturação. Barras representam o erro padrão da média

6 CONCLUSÃO

Analisando-se os resultados obtidos, pode-se concluir que:

- a) a técnica do biospeckle laser associada à análise do Momento de Inércia se mostra uma ferramenta capaz de acompanhar e quantificar a atividade biológica da carne, durante o processo de maturação;
- b) foi possível obter correlações significativas da variação do Momento de Inércia com as variações de pH e força de cisalhamento (FC), indicando que, possivelmente, o biospeckle conseguiu estimar a atividade das enzimas endógenas responsáveis pela maciez durante o processo de maturação;
- c) a alta correlação da análise biospeckle das carnes embaladas com alguns parâmetros de cor, principalmente com o ângulo de tonalidade h^* e MMb, demonstra o potencial desta técnica na avaliação da qualidade da cor de carne;
- d) a normalização (AVD) apresentou melhorias nos resultados das amostras embaladas, tornando a técnica do biospeckle mais segura na predição dos fenômenos biológicos presentes no processo de maturação.

6.1 Trabalhos futuros

Como propostas de trabalhos futuros destacam-se:

- a) verificar a correlação do biospeckle laser com outras metodologias tradicionais e objetivas que quantifiquem a atividade enzimática no processo de maturação;
- b) considerar a influência de outros fatores que interferem na maciez da carne, como a raça, a criação, o músculo, etc.;
- c) verificar a repetibilidade nas correlações referentes aos valores dos Momentos de Inércia pertencentes à MOC com normalização, bem como certificar-se de qual normalização melhor se ajusta à análise de tecido animal;
- d) estudos com maiores unidades amostrais, bem como análises bioquímicas e estruturais detalhadas, devem ser conduzidos para melhor entender os mecanismos envolvidos.

REFERÊNCIAS

ARIZAGA, R. et al. Speckle time evolution characterization by the co-occurrence matrix analysis. **Optics and Laser Technology**, Surrey, v. 31, n. 2, p. 163-169, Mar. 1999.

BOURNE, M. C. **Food texture and viscosity: concept and measurement**. New York: Academic Press, 1982. 314 p.

BRAGA JÚNIOR, R. A. **Biospeckle: uma contribuição para o desenvolvimento de uma técnica aplicada à análise de sementes**. 2000. 150 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

BRAGA, R. A. et al. Detection of fungi in beans by the laser biospeckle technique. **Biosystems Engineering**, London, v. 91, n. 4, p. 465-469, Aug. 2005.

BRAGA, R. A. et al. Evaluation of activity through dynamic laser speckle using the absolute value of the differences. **Optics Communications**, Sydney, v. 284, n. 2, p. 646-650, Jan. 2011.

BRAGA, R. A. et al. Live biospeckle laser imaging of root tissue. **Biosystems Engineering**, London, v. 38, n. 5, p. 679-686, May 2009.

BRIERS, J. D. Wavelength dependence of intensity fluctuations in laser speckle patterns from biological specimens. **Optics Communications**, Sydney, v. 13, n. 3, p. 324-326, Mar. 1975.

CANHOS, D. A. L.; DIAS, E. L. **Tecnologia de carne bovina e produtos derivados**. São Paulo: FTPT, 1983. 440 p.

CARDOSO, R. R.; BRAGA, R. A. **Análise do speckle laser dinâmico: uma releitura**. 2011. 34 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

CARPENTER, C. E.; CORNFORTH, D. P.; WHITTIER, D. Consumer preferences for beef color and packaging did not affect eating satisfaction. **Meat Science**, Barking, v. 57, n. 4, p. 359-363, Aug. 2001.

CARVALHO, P. H. A. et al. Motility parameters assessment of bovine frozen semen by biospeckle laser (BSL) system. **Biosystems Engineering**, London, v. 102, n. 1, p. 31-35, Jan. 2009.

CULLER, R. D. et al. Relationship of myofibril fragmentation index to certain chemical, physical and sensory characteristics of bovine longissimus muscle. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 43, n. 4, p. 1177-1180, July 1978.

DAVEY, C. L.; GILBERT, K. V. Studies in meat tenderness: changes in the fine structure of meat during aging. **Journal Food Science**, Chicago, v. 34, n. 1, p. 69-74, Jan. 1969.

DELGADO, E. F. et al. The calpain system in three muscles of normal and callipyge sheep. **Journal of Animal Science**, Chicago, v. 79, n. 2, p. 398-412, Feb. 2001.

FUJII, A. H. et al. Blood-flow observed by time-varying laser speckle. **Optics Letters**, Washington, v. 10, n. 3, p. 104-106, Mar. 1985.

GEESINK, G. H. et al. Prediction of pork quality attributes from near infrared reflectance spectra. **Meat Science**, Barking, v. 65, n. 1, p. 661-668, Sept. 2003.

HAYWARD, L. H. et al. Blade tenderization effects on beef Longissimus sensory and instron textural measurements. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 45, n. 4, p. 925-935, July 1980.

KERRY, J. P.; BUCKLEY, D. J.; MORRISSEY, P. A. Improvement of oxidative stability of beef and lamb with vitamin E. In: DECKER, E. A.; FAUSTMAN, C.; LOPEZ-BOTE, C. J. (Org.). **Antioxidants in muscle foods**. New York: J. Wiley, 2000. chap. 9, p. 229-261.

KOOHMARAIE, M. et al. Effect of post-mortem storage on Ca⁺⁺-dependent proteases, their inhibitor and myofibril fragmentation. **Meat Science**, Barking, v. 19, n. 3, p. 187-196, 1987.

KORKEALA, H. et al. Determination of pH in meat. **Meat Science**, Barking, v. 18, n. 2, p. 121-132, 1986.

KRZYWICKI, K. Assessment of relative content of myoglobin, oxymyoglobin and metmyoglobin at the surface of beef. **Meat Science**, Barking, v. 3, n. 1, p. 1-10, Jan. 1979.

LAWRIE, R. A. **Ciência da carne**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005. 384 p

LEROY, B. et al. Prediction of technological and organoleptic properties of beef Longissimus thoracis from near-infrared reflectance and transmission spectra. **Meat Science**, Barking, v. 66, n. 1, p. 45-54, Jan. 2003.

LYON, M. et al. Effects of electrical stimulation, aging, and blade tenderization on hot-boned beef psoas major and triceps brachii muscles. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 48, n. 1, p. 131-135, Jan. 1983.

MACDOUGALL, D. B. Colour meat- its basis and importance. In: PEARSON, A. M.; DUTSON, T. R. (Ed.). **Quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish product**. London: Black Academic, 1994. chap. 9, p. 34-78. (Advances in meat research series, 9).

MANCINI, R. A.; HUNT, M. C. Current research in meat color: a review. **Meat Science**, Barking, v. 71, n. 1, p. 100-121, Sept. 2005.

MONIN, G. Recent methods for predicting quality of whole meat. **Meat Science**, Barking, v. 49, n. 2, p. 231-243, June 1998.

MORAES, M. S. **Maturação da carne bovina**. 2004. 27 p. Monografia (Especialização em Qualidade dos Alimentos) - Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

MORAES, M. V. T.; AZEVEDO, P. R. A. Fatores extrínsecos que influenciam no amaciamento da carne. **Revista Nacional da Carne**, São Paulo, v. 27, n. 321, p. 68-80, 2003.

MUCHENJEA, V. et al. Some biochemical aspects pertaining to beef eating quality and consumer health: a review. **Food Chemistry**, London, v. 112, n. 2, p. 279-289, Jan. 2009.

NIERI, T. M. **Modelo experimental para o estudo do comportamento óptico da parede abdominal e sua interação com um material protético por biospeckle**. 2005. 125 p. Tese (Doutorado em Ciências Médicas) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

NOBRE, C. M. B. **Análise espectral do biospeckle laser através do momento de inércia, entropia e Cross-spectrum**. 2008. 179 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

OULOMARA, G.; TRIBILLON, J.; DUVERNOY, J. Biological activity measurements on botanical specimen surfaces using a temporal decorrelation effect of laser speckle. **Journal of Moderns Optics**, London, v. 36, n. 2, p. 136-179, Feb. 1989.

PAJUELO, M. et al. Bio-speckle assessment of bruising in fruits. **Optics and Lasers Engineering**, London, v. 40, n. 1, p. 13-24, July 2003.

PEARSON, A. M.; YOUNG, R. B. **Muscle and meat biochemistry**. San Diego: Academic Press, 1989. 457 p.

POSO, A. R.; PUOLANNE, E. Carbohydrate metabolism in meat animals. **Meat Science**, Barking, v. 70, n. 3, p. 423-434, July 2005.

RABAL, H. J.; BRAGA, R. A. **Dynamic laser speckle and applications**. Boca Raton: CRC, 2008. 304 p.

RABELO, G. F. et al. Laser speckle techniques in quality evaluation of orange fruits. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 570-575, Oct./Dec. 2005.

RAMOS, E. M.; GOMIDE, L. A. M. **Avaliação da qualidade de carnes: fundamentos e metodologias**. Viçosa, MG: UFV, 2007. 599 p.

RANASINGHESAGARA, J. et al. Imaging optical diffuse reflectance in beef muscles for tenderness prediction. **Meat Science**, Barking, v. 84, n. 3, p. 413-421, Mar. 2010.

RODBOTTEN, R.; NILSE, B. N.; HILDRUM, K. I. Prediction of beef quality attributes for early post mortem near infrared reflectance spectra. **Food Chemistry**, London, v. 69, n. 4, p. 427-436, June 2000.

RODRIGUES, E. C. **Influência do sistema de terminação e genótipo na qualidade da carne de bovinos de rebanhos comerciais**. 2007. 132 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

TAYLOR, R. G. et al. Is z-disk degradation responsible for post-mortem tenderization? **Journal of Animal Science**, Albany, v. 7, n. 5, p. 1351-1367, May 1995.

WALSH, H. M.; KERRY, J. P. Meat packaging. In: _____. **Meat processing**. London: Woodhead, 2002. chap. 20, p. 417-451.

XIA, J. et al. Characterizing beef muscles with optical scattering and absorption coefficients in VIS-NIR region. **Meat Science**, Barking, v. 75, n. 1, p. 78-83, Jan. 2007.

XU, X. L. et al. Time-delay estimation using wavelet transform for pulsed-wave ultrasound. **Annals of Biomedical Engineering**, New York, v. 23, n. 5, p. 612-621, Sept./Oct. 1995.

ZEOLA, N. M. B. L. Conceitos e parâmetros utilizados na avaliação da qualidade da carne ovina. **Revista Nacional da Carne**, São Paulo, v. 26, n. 304, p. 36-56, jun. 2002.