

## OXIDAÇÃO LIPÍDICA E QUALIDADE DA CARNE OVINA

[Lipid oxidation and lamb meat quality]

Dorgival Moraes de Lima Júnior<sup>1</sup>; Adriano Henrique do Nascimento Rangel<sup>2</sup>; Stela Antas Urbano<sup>3</sup>;  
Greicy Mitzi Bezerra Moreno<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Alagoas, Campos Arapiraca, Arapiraca, Alagoas, Brasil;

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Agropecuária, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil;

<sup>3</sup> Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Zootecnia, Recife, Pernambuco, Brasil.

**RESUMO** - Um dos maiores desafios para a indústria de carnes é oferecer produtos com cor e sabor agradáveis e que essas características de frescor mantenham-se estáveis durante toda a vida de prateleira, com maior segurança e menores custos possíveis. A oxidação dos lipídeos está na origem de sabor, cor e odor desagradáveis nas carnes, afetando a aceitação pelo consumidor. A carne ovina, apesar de não apresentar um elevado teor de lipídeos insaturados, também é suscetível a oxidação lipídica, principalmente na presença dos íons metálicos como ferro não heme. Além disso, as operações de processamento como cozimento e salga também afetam a estabilidade oxidativa das carnes bem como a estocagem em ambientes não refrigerados ou mesmo o método de insensibilização dos animais no momento do abate. O efeito da oxidação sobre a mioglobina altera a valência do íon de ferro e influencia na reflexão da luz e na aceitação da carne pelos consumidores. A utilização de embalagens a vácuo ou com atmosfera modificada pode prolongar a vida de prateleira da carne ovina, proporcionando ambientes não favoráveis ao desenvolvimento de reações oxidativas. Além das embalagens, a adição de substâncias antioxidantes diretamente na carne ou utilizada na dieta animal vem proporcionando efeitos variados no prolongamento da vida de prateleira da carne ovina. Óleos essenciais de alguns vegetais ricos em carotenoides, extratos vegetais ricos em fenóis e outras substâncias vêm sendo descritas como protetoras da vida de prateleira e seus mecanismos de ação antioxidante e contribuem para a melhoria das características qualitativas da carne ovina. São necessárias pesquisas que desvendem os mecanismos de ação dessas moléculas e seus efeitos sobre as características sensoriais da carne ovina. A utilização de embalagens e antioxidantes prolonga a vida de prateleira da carne ovina em dez ou quinze dias em condições de varejo. São necessários mais estudos que avaliem efeitos associados das embalagens e dos antioxidantes sobre a qualidade da carne ovina. Dessa forma, objetivou-se realizar um levantamento sobre os fatores determinantes da oxidação lipídica da carne ovina.

**Palavras - chave:** malonaldeído, produtos cárneos, *off-flavor*, qualidade de carne.

**ABSTRACT** - A major challenge for the meat industry is to offer products with color and pleasant flavor and freshness of these characteristics that remain stable throughout shelf life, with greater security and lowest cost. The oxidation of lipids is at the origin of taste, color and odor unpleasant in meat, affecting consumer acceptance. The lamb, though not present a high content of unsaturated lipids, is also susceptible to lipid oxidation, especially in the presence of metal ions as non-heme iron. Furthermore, the processing operations as cooking and salting also affect the oxidative stability of the meat as well as in non-refrigerated storage or even the method of stunning animals at slaughter. The effect of the oxidation of myoglobin changes the valence of the ion and iron influence on light reflection and acceptance by consumers of meat. The use of vacuum packaging or modified atmosphere can extend the shelf life of lamb, providing environments not conducive to the development of oxidative reactions. Besides the containers, the addition of antioxidants in meat or used directly in animal diets is providing varying effects in prolonging the shelf life of lamb meat. Essential oils of some vegetables rich in carotenoids, plant extracts rich in phenols and other substances have been described as shelf life increasers and its mechanisms of antioxidant action and contribute to the improvement of meat quality of sheep. Research is needed to uncover the mechanisms of action of these molecules and their effects on the sensory characteristics of lamb meat. The use of packaging and antioxidants extends the shelf life of lamb into ten or fifteen days under retail. Further studies are needed to assess effects associated packaging and antioxidants on the quality of lamb. Thus, the objective was to conduct a survey on the determinants of lipid oxidation of lamb.

<sup>1</sup> Autor para correspondência: [juniorzootec@yahoo.com.br](mailto:juniorzootec@yahoo.com.br)

**Keywords:** malonaldehyde, meat products, *off-flavor*, meat quality.

## INTRODUÇÃO

O mercado mundial de carnes está inserido estrategicamente no contexto globalizado. Prospecções realizadas pela FAO/OCDE (2006) estimam que em 2015, considerando-se o atual consumo e a dinâmica econômica, serão necessárias 14,191 milhões de toneladas de carne ovina para atender o mercado mundial.

A exportação de carcaças e cortes cárneos ovinos resfriados ou congelados vem demandando um grande volume de tecnologia, uma vez que é necessário que a carne conserve suas características sensoriais durante o traslado até as gôndolas do varejista. Situações como a descoloração do corte, a exsudação excessiva e, principalmente, o ranço limitam o comércio entre os grandes centros produtores e consumidores (Karabagias et al., 2011; Kim et al. 2012).

A oxidação de lipídeos está na origem de gostos e odores característicos do ranço, responsáveis por *off flavors* e *off odors*, importantes causas da rejeição pelo consumidor. A carne é normalmente rica em triacilgliceróis e fosfolipídios que afastados da proteção natural por ocasião do abate e falência da circulação sanguínea sofrem processos de oxidação (Osawa et al., 2005).

Estimativas seguras da vida de prateleira da carne ovina não superam os 10 dias em situações de refrigeração de varejo. A ação microbiana em condições aeróbicas são as principais causadoras da deterioração da carne e da rápida perecibilidade. Tecnologias de embalagem a vácuo permitem protelar a vida de prateleira da carne refrigerada em mais 10 ou 15 dias, todavia alterações nas características de cor afetam a aceitabilidade pelo consumidor (Lawrie, 2005; Gómez & Lorenzo, 2012).

A aplicação de antioxidantes diretamente nos produtos cárneos ou na dieta dos animais visando prolongar a vida de prateleira vem recebendo bastante atenção recentemente, principalmente os antioxidantes naturais, uma vez que substâncias como hidroxitolueno butilado (BHT), hidroxianisol butilado (BHA) e tert-butilhidroquinona (TBHQ) tem limites estritos de inserção nos produtos alimentares (Laguerre et al., 2007).

O uso de antioxidantes naturais, como óleos essenciais e extratos de plantas ricas em

carotenoides, taninos e outras substâncias pode ser uma alternativa aos antioxidantes químicos. Além de apresentar efeitos prolongadores da vida de prateleira, alguns antioxidantes naturais podem até modificar o perfil de gorduras depositados nos tecidos animais favorecendo o acúmulo de ácidos graxos poli-insaturados que contribuem para melhoria da saúde humana (Descalzo & Sancho, 2008; Karami et al., 2011).

Várias tecnologias vêm sendo desenvolvidas buscando redução da oxidação lipídica e aumento da vida de prateleira da carne, a saber: embalagens a vácuo, atmosfera modificada, utilização de antioxidantes. Devido à importância da carne ovina como fonte de proteína animal e à suscetibilidade desse produto à oxidação, objetivou-se realizar um levantamento sobre os fatores determinantes da oxidação lipídica da carne ovina.

## GENERALIDADES DA OXIDAÇÃO LIPÍDICA

A oxidação lipídica constitui a principal causa da deterioração dos corpos graxos e apresenta-se como espontânea e inevitável, com implicações diretas sobre o seu valor comercial e de todos os produtos que a partir deles são formulados (Laguerre et al., 2007).

Os fenômenos de oxidação dos lipídeos dependem de mecanismos reacionais diversos e extremamente complexos, os quais estão relacionados com o tipo de estrutura lipídica e o meio onde se encontra. Além disso, o número e natureza das insaturações presentes, a exposição a luz e ao calor, a presença de pró-oxidantes metálicos ou de fatores antioxidantes, são determinantes para estabilidade oxidativa dos lipídeos (Wheatley, 2000).

Os lipídeos presentes nos sistemas biológicos são oxidáveis em diferentes graus e constituem-se de uma mistura de (mono-, di- e tri-) glicerídeos, fosfolipídios, ácidos graxos livres, esteróis, etc. Os triglicerídeos resultam da esterificação de uma molécula de glicerol com três ácidos graxos, sendo considerados os principais responsáveis pelo desenvolvimento do ranço (Nelson & Cox, 2006).

Os mecanismos de oxidação podem ocorrer por várias vias, em função do meio e dos agentes catalizadores. Nos sistemas biológicos, os lipídeos sofrem oxidação por três principais meios, a saber:

fotoxidação, autoxidação e oxidação enzimática (Larguerre et al., 2007; Wójciak & Dolatowski, 2012).

A fotoxidação é promovida essencialmente pela radiação ultravioleta em presença de sensibilizadores, como a mioglobina, por exemplo, e envolve a participação de reações radiculares, cujo resultado é a formação de hidroperóxidos diferentes dos observados na ausência de luz e sensibilizadores (Lawrie, 2005; Olivo & Shimokomaki, 2006; Gómez & Lorenzo, 2012).

A autoxidação trata-se de um fenômeno puramente químico e bastante complexo, envolvendo reações radiculares capazes de autoprogramação, e que dependem do tipo de ação catalítica (temperatura, pH, íons metálicos, radicais livres). No decurso da sequência reacional é possível distinguir três etapas da evolução oxidativa: a) desaparecimento de substratos de oxidação, como oxigênio e ácidos graxos; b) aparecimento de peróxidos e hidroperóxidos, produtos primários da oxidação e c) aparecimento de produtos secundários da oxidação como aldeídos, álcoois e outros compostos voláteis e não voláteis (Wójciak & Dolatowski, 2012).

A oxidação enzimática ocorre pela ação das lipoxigenase, enzimas que atuam sobre os ácidos graxos catalisando a adição de oxigênio à cadeia hidrocarbonada. O resultado é a formação de hidroperóxidos e peróxidos com duplas ligações conjugadas, e podem desenvolver diferentes reações degenerativas, originando diversos produtos (Samples et al., 2004; Lawrie, 2005; Gómez & Lorenzo, 2012).

Em todos os mecanismos de oxidação lipídica é regra a presença de um radical livre que reage com a cadeia hidrocarbonada do ácido graxo formando um peróxido. Este peróxido reagirá sobre outra cadeia hidrocarbonada extraindo hidrogênios e originando um hidroperóxido. A cadeia carbonada da qual os hidrogênios foram extraídos agirá como novo peróxido, perpetuando o ciclo (Wheatley, 2000).

Os radicais livres possuem um ou mais elétrons livres, os quais podem existir independentemente por um curto período. São exemplos dessas moléculas reativas do oxigênio: radical hidroxil ( $\text{HO}\cdot$ ) (o mais potente oxidante encontrado em sistemas biológicos, radicais de oxigênio de componentes orgânicos (peroxil ( $\text{ROO}\cdot$ ) e alcoxil ( $\text{RO}\cdot$ ), o radical superóxido ( $\text{O}_2\cdot^-$ ) e seu conjugado radical do ácido hidroperóxido ( $\text{HO}_2\cdot$ ) e o oxigênio singlet ( $\text{O}^{1-2}$ ). Essas moléculas reativas do oxigênio podem ser produzidas intencionalmente ou acidentalmente. Durante o

metabolismo normal aeróbico, as mitocôndrias consomem oxigênio molecular reduzindo-o sequencialmente para produzir ATP e  $\text{H}_2\text{O}$ . Durante este processo são formados acidentalmente  $\text{O}^{1-2}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{HO}\cdot$ . Por outro lado, as células de defesa (fagócitos) geram deliberadamente  $\text{O}^{1-2}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  para inativarem bactérias e vírus (Olivo & Shimokomaki, 2006).

Essas reações de oxidação de lipídeos ocorrem principalmente em ácidos graxos que compõem os fosfolípidos presentes nas membranas e nas estruturas sub-celulares, levando ao seu rompimento e causando disfunções e morte celular (Larguerre et al. 2007; Wójciak & Dolatowski, 2012).

Atualmente, o teste de TBA (ácido 2-tiobarbitúrico) ou TBARS (Substâncias reativas no ácido 2-tiobarbitúrico) é o mais utilizado para verificação dos efeitos da oxidação lipídica em carnes e derivados. Esse teste quantifica o malonaldeído (MDA), um dos principais produtos da decomposição dos hidroperóxidos dos ácidos graxos poli-insaturados, formado durante o processo oxidativo o MDA é um dialdeído de três carbonos, com grupos carbonilas nos carbonos um e três.

Osawa et al. (2005) revisaram a aplicação do teste de TBA (ácido 2-tiobarbitúrico) na avaliação oxidativa de carnes e derivados e relataram a importância do teste principalmente nos produtos que sofrem processamento que favorece a formação de malonaldeído. Os autores ainda afirmaram que o teste vem passando por mudanças metodológicas a fim de torna-lo mais preciso, pois testes baseados na medida espectrofotométrica são menos sensíveis e menos específicos que os métodos de quantificação de malonaldeídos por cromatografia líquida de alta eficiência ou cromatografia de fase gasosa.

A fração dos fosfolípidos nos músculos é geralmente mais insaturada que os triglicerídeos e contribui inicialmente com a formação do MDA. Fatores como grau de instauração dos ácidos graxos, presença de metais, pH, temperatura são predisponentes importantes na velocidade de formação e aumento do número de TBA. Apesar da carne de ruminantes apresentar baixos teores de ácidos graxos insaturados, o teste de TBA é de grande utilidade para determinação da vida de prateleira desses produtos, pois é bastante acurado na comparação de um único material em diferentes estágios de oxidação (Osawa et al., 2005).

## FATORES ENDÓGENOS QUE PROMOVEM A OXIDAÇÃO LIPÍDICA NA CARNE

A oxidação lipídica da carne pode ser derivada de fatores endógenos como lipases, íons metálicos, grupos heme presentes no músculo e outros fatores determinantes para os processos oxidativos (Min et al., 2008; Ponnampalam et al., 2012).

A oxidação lipídica em carnes pode ser desencadeada por íons metálicos com facilidade para doar elétrons que levam ao aumento da taxa de formação de radicais livres. O ferro e o cobre metálico apresenta atividade pró-oxidante na carne *in natura* e cozida, principalmente quando no sistema estão presentes outros pró-oxidantes, como pequenas quantidades de ácido ascórbico (O'Sullivan et al., 2003; Yang et al., 2004; Chaijan, 2011). Além da lipólise oxidativa direta sobre os produtos cárneos, Cheng et al. (2010) observaram que a suplementação com diferentes fontes de cobre também aumentaram a lipólise no tecido adiposo e no fígado dos animais.

Muitas pesquisas vêm avaliando a importância dos grupamentos heme e não-heme presentes na carne como catalizadores de processos oxidativos de lipídeos. Na carne de ruminantes, traços de hemoglobina e quantidades variáveis de mioglobina são responsáveis por quantidades apreciáveis de grupamentos heme de ferro (Park & Attaie, 1988; Lawrie, 2005; Faustman et al., 2010). Ramos et al. (2012) demonstraram que as quantidades do ferro heme e não heme variam entre os grupos musculares *Psoas major*, *Gluteus medius* e *Longissimus dorsi*. Os autores ainda afirmaram que os músculos de maior atividade são os possuidores de maiores teores de ferro.

Pode-se inferir que os músculos mais ricos em mioglobina tem maior suscetibilidade a oxidação lipídica. Todavia, as proteínas possuidoras de grupamento heme têm sido consideradas, mais recentemente, catalizadores de propagação do ciclo

peroxidativo e não iniciadoras do processo (Kathirvel & Richards, 2012).

Min et al. (2011) comparando diferentes frações químicas do lombo bovino, observaram elevada capacidade oxidante na mioglobina e  $Fe^{++}$ , e inferiram que a mioglobina parece aumentar sua capacidade pró-oxidante com tempo de reação lipídica. Os autores ainda reportaram que a capacidade de estabilidade da carne depende principalmente dos mecanismos quelantes de íons metálicos. Ou seja, a presença de substâncias sequestrantes de íons metálicos como adsorventes podem aumentar a vida de prateleira da carne ovina.

## EFEITO DO PROCESSAMENTO, ESTOCAGEM E PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS NA OXIDAÇÃO LIPÍDICA DA CARNE

Frequentemente, a estabilidade e a conservação da carne deve-se à forma compartimentada ou descontínua como alguns dos seus constituintes se distribuem na matriz do tecido. Processamentos que causam ruptura dos sistemas de membrana dos músculos, como moagem, cozimento, salga, desossa, defumação e congelamento lento expõem frações lipídicas oxidáveis aos grupos reativos, favorecendo o ranço (Samples et al., 2004).

Por ocasião do cozimento, o calor altera a permeabilidade das membranas facilitando a interação entre agentes oxidantes, como os grupamentos heme de ferro, e os ácidos graxos insaturados das membranas. Elevadas temperaturas incrementam a desnaturação das proteínas musculares e favorecem a liberação de íons de ferro, que por sua vez, massificam o processo de oxidativo. Nieto et al. (2011) evidenciaram aumento dos níveis de aldeídos e álcoois característicos da peroxidação lipídica na carne de cordeiros cozida. Os autores também verificaram que os valores de TBARS foram incrementados com o armazenamento da carne por até dois dias (Tabela 1).

Tabela 1. Valores médios e desvios padrão das substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS: mg MDA/kg carne), em carne de cordeiros cozida e armazenada durante 0, 2 e 4 dias, sob condições de varejo. Adaptado de Nieto et al. (2011).

	Nível	Dia 0 M±DP	Dia 2 M±DP	Dia 4 M±DP
TBARS	C	0,19±0,04 <sup>z</sup>	2,93±0,24 <sup>ay</sup>	4,28±0,22 <sup>ax</sup>
	T1	0,25±0,16 <sup>z</sup>	2,60±0,28 <sup>by</sup>	3,49±0,15 <sup>bx</sup>
	T2	0,13±0,01 <sup>z</sup>	2,76±0,83 <sup>by</sup>	3,80±0,21 <sup>bx</sup>

C = controle; T1 = 3,75% de óleo de tomilho; T2 = 7,5% de óleo de tomilho. As médias com sobrescritos diferentes são significativamente diferente (P <0,05). a, b, c: letras diferentes dentro da mesma coluna (diferença entre os tratamentos) diferem significativamente (P <0,05). x, y, z: letras diferentes dentro do mesma linha (diferenças entre período de armazenamento) diferem significativamente (P <0,05).

O cloreto de sódio e outros sais de cura (KCl, CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>) aceleram a oxidação dos triglicerídeos por mecanismos ainda não bem compreendidos. Acredita-se que os sais após a dissociação em meio aquoso interagem com os lipídeos, formando peróxidos. Outra explicação plausível é a modificação da atividade catalítica dos grupamentos heme, resultado em peroxidação lipídica indireta (Desmond, 2006). Independente do mecanismo de ação tem sido documentando que o cloreto de sódio induz a peroxidação lipídica em carnes congeladas, cozidas e curadas (Aliño et al., 2009; Costa et al., 2011). Teixeira et al. (2011) reportaram modificação na coloração da carne caprina com a salga. Também ocorreram mudanças nos parâmetros de intensidade de vermelho (a\*) e intensidade de amarelo (b\*), que segundo os autores, refletiram oxidação da mioglobina pelo sal adicionado no processo.

Em estudo recente, Bolumar et al. (2012) descreveram a influencia da elevada pressão e temperatura na oxidação de lipídeos em carnes. Os autores reportam que por muito tempo acreditou-se na hipótese da perda de seletividade da membrana como principal mecanismo de oxidação nas carnes sob pressão, todavia, descobertas recentes permitem inferir que é a formação de radicais livres, proporcionada pela mistura de calor e pressão elevada, a responsável pela oxidação lipídica das carnes em elevada pressão.

Para além da importância de conservação em baixas temperaturas, a velocidade de perda de calor e congelamento das carnes torna-se preponderante para os processos de conservação. Geralmente, em processos de congelamento lento os cristais de gelo se formam mais rapidamente no meio intercelular. À medida que ocorre a formação de gelo extracelular, a força iônica do fluido extracelular remanescente, não congelado, aumenta e atrai a água osmoticamente do interior da célula muscular. Esta congela sobre cristais de gelos preexistentes, provocando seu crescimento e, assim, distorcendo e danificando as fibras. Nesse tipo de congelamento, ocorrem danos na membrana celular por formação de cristais de gelo que acabam rompendo sua estrutura. Em métodos de congelamento mais rápido os cristais são menores e distribuídos dentro e fora das células (Lawrie, 2005; Zhou et al., 2010; Leygonie et al., 2012). Muela et al. (2010a) estudaram o efeito do método de congelamento (rápido ou lento) e dos períodos de armazenamento (1, 3 e 6 meses) sobre a qualidade oxidativa da carne ovina e observaram que os métodos de congelamento rápido foram mais eficientes em preservar a estabilidade oxidativa da

carne nos períodos mais longos de armazenamento (3 e 6 meses).

Além dos métodos de congelamento, os períodos de estocagem em baixas temperaturas tornam-se determinante para estabilidade oxidativa das carnes. Limbo et al. (2010) observaram maiores valores de TBA na carne de ruminantes armazenada a 15,5°C (0,305 mg de MDA/kg de carne) quando comparada a carnes armazenadas a 8,1°C (0,105 mg de MDA/kg de carne) ou 4,3°C (0,081 mg de MDA/kg de carne). A refrigeração diminuiu a atividade molecular e reduz as interações entre as moléculas oxidativas e os lipídeos cárneos.

A perda de calor nas superfícies dos cortes cárneos depende de fatores diversos, no entanto, a temperatura e o tamanho da peça podem influenciar na duração do período de refrigeração e congelamento, e influenciar na oxidação lipídica. Muela et al. (2010b) avaliaram o efeito de diferentes temperaturas de resfriamento da carcaça sobre o padrão de oxidação da carne de cordeiros e observaram não haver diferenças no índice de TBARS entre as carnes provenientes de carcaças resfriadas entre 0-2°C, 2-4°C e 4-6°C. Entretanto, independente da temperatura de resfriamento, os autores reportaram que as carcaças mais pesadas, acima de 12 kg, apresentaram valores de 0,142 mg de MDA/kg de carne, valor de TBARS significativamente superior aos documentados para carcaças mais leves (< 10 kg). Carcaças mais pesadas já haviam sido descritas por Linares et al. (2007) como mais suscetíveis a oxidação lipídica. Pode-se inferir que carcaças mais pesadas possuem menor relação área:volume, característica que dificulta as trocas térmicas, permanecendo por mais tempo com temperaturas elevadas, o que estimula a peroxidação lipídica.

Linares et al. (2007) também estudaram o efeito dos diferentes métodos de insensibilização sobre a peroxidação da carne ovina armazenada e observaram que cordeiros insensibilizados com atmosferas contendo 90% de CO<sub>2</sub> por 90 segundos, apresentaram menores valores de TBARS (1,01 mg de MDA/kg de carne) quando comparados a carne de ovinos insensibilizados por estimulação elétrica (3,44 mg de MDA/kg de carne) ou não insensibilizados (3,73 mg de MDA/kg de carne). Pode-se inferir que as maiores concentrações de CO<sub>2</sub> nos tecidos do animal abatido reduziram a possibilidade de estresse por oxigênio.

A estabilidade oxidativa das carnes também pode ser perturbada pelo uso de radiações. A maioria dos processamentos em carne irradiada objetiva diminuição da colonização e crescimento de microorganismos, todavia frequentemente ocorrem alterações na coloração da carne promovida por modificações nas moléculas de mioglobina. Essas moléculas tem sua capacidade oxredutora modificada e afetam a maioria dos componentes biológicos presentes na carne (Brewer, 2004; Brewer, 2009). Além da autooxidação, fenômenos de fotoxidação lipídica são recorrentes em carnes irradiadas, resultando em alterações de cor e modificações sensoriais (Cheng et al., 2011). Karnatt et al. (2006) observaram que a radiação gama (2,5 e 5 kGy) incrementa os níveis de ácidos graxos livres e reduz os teores de fosfolipídios e colesterol das carnes ovinas. No que concerne o perfil lipídico, os autores não observaram mudanças nos ácidos graxos, mas os fosfolipídios poli-insaturados foram reduzidos com a radiação ionizante.

Em outro estudo avaliando a oxidação promovida pela radiação, Karnatt et al. (2007) observaram aumento do índice TBARS quando compararam carne ovina irradiada e não irradiada, logo após o processamento. Os autores também observaram que a carne irradiada, mesmo refrigerada, também apresentou maiores índices de TBARS durante todo o período de armazenamento estudado.

A oxidação dos fosfolipídios, porção mais insaturada dos lipídeos da carne de ruminantes, e aumento nos teores de ácidos graxos livres parecem ser os principais promotores do ranço na carne ovina irradiada. Alfaia et al. (2007) estudaram o efeito da radiação gama sobre o perfil de ácidos graxos e isômeros do ácido linoleico conjugado na carne ovina e observaram que 7 kGy de radiação não proporcionaram mudanças sobre o perfil de ácidos graxos da carne ovina ou sobre a quantidade de ácido linoleico conjugado.

É consenso na literatura que o perfil de ácidos graxos na carne ovina influencia o padrão de oxidação lipídica. Conforme relatado por Santi-Lhoutellier et al. (2008) a dieta tem importante efeito na oxidação lipídica da carne ovina por influenciar nos teores de ácidos graxos mono e poli-insaturados. Os autores observaram que os valores de TBARS aumentaram com o período de estocagem na carne dos animais alimentados com concentrado em detrimento aos alimentados com pasto, apesar da carne dos animais alimentados com pasto apresentarem maior teor de ácidos graxos poli-insaturados. Pode-se inferir que apesar da velocidade

de autooxidação está dependente do número de duplas ligações presentes na molécula hidrocarbonada, a carne de animais alimentados a pasto tende a oxidar mais lentamente, porque contém quantidades significativas de antioxidantes naturais presentes na fração lipídica, como tocoferóis.

A relação entre a fração oxidável e a fração estável dos lipídeos num mesmo alimento pode ser modificada pela formulação e pelas condições de processamento. Determinados processos tem como consequência alteração profunda dessa estrutura compartimentada, provocando a ruptura dos glóbulos de gordura, favorecendo a ação de enzimas lipolíticas (Lawrie, 2005).

### **EFEITO DA OXIDAÇÃO SOBRE OS ATRIBUTOS SENSORIAIS DA CARNE OVINA**

Apesar de alguns aspectos ainda não esclarecidos sobre a ação dos processos oxidativos na carne ovina, é certo que os componentes sensoriais de cor, sabor, odor e *flavor* da carne ovina são afetados, em maior ou menor grau, pela peroxidação lipídica (Weeb & O'Niell, 2008).

A cor desempenha um importante papel sobre a qualidade sensorial da carne e destaca-se como principal fator de decisão no momento da compra. A mioglobina, metaloproteína envolvida nos processos de oxigenação do músculo, caracteriza-se como principal pigmento responsável pela cor da carne (Calkins & Hodgen, 2007; Troy & Kerry, 2010).

A mioglobina apresenta um grupo heme cromogênio ligado ao ferro e bastante suscetível às oxidações sofridas pelo tecido muscular após o abate do animal (Faustman et al., 2010). Conforme Li & Liu (2012) a oxidação sofrida pela mioglobina deriva de espécies reativas de oxigênio e peróxidos e causa oxidação do grupamento heme do ferro. A existência da oxidação só é possível se ocorrer  $H_2O_2$  no meio, em uma reação conhecida como Reação de Fenton. Esse tipo de reação está intimamente ligada as modificações de cor nos produtos cárneos.

A cor da carne preferida pelos consumidores é vermelho brilhante, obtida pela oxidação da mioglobina pelo oxigênio. Conhecido como oximioglobina, esse pigmento é extremamente reativo e lábil. Para Wójciak & Dolatowski (2012) as oxidações na oximioglobina ocorrem por aumentos rápidos na temperatura, anaerobiose, meio ácido e presença de ferro não-heme. Camo et al. (2008) observaram que a metamioglobina aumentou de 40 para 90% do total de pigmentos com o período

de estocagem da carne ovina. Esses autores relacionaram a presença da metamioglobina com redução da intensidade de vermelho ( $a^*$ ) e menores escores de preferência em painel sensorial.

Buscando melhorar o aspecto sensorial e preservar a cor vermelho brilhante na carne ovina, diversos estudos vêm sendo conduzidos com uso de embalagens de atmosfera modificada rica em oxigênio (Khlijji et al., 2010). Gómez & Lorenzo (2012) avaliaram diferentes embalagens para armazenamento do lombo ovino e observaram que carnes embaladas com atmosfera rica em  $O_2$  tiveram diminuição da intensidade de vermelho ( $a^*$ ), aumento na produção de carbonilas e elevados índices de TBARS, suscitando a necessidade de aditivos que reduzam a atividade oxidativa do oxigênio durante longos períodos de armazenamento. Em estudo verificando o aspecto sensorial de carne de cordeiros embalada em atmosfera modificada rica em oxigênio, Gutierrez et al. (2011) verificaram que apesar de aumentar a aceitabilidade global da cor, carnes embaladas em atmosfera 80%  $O_2$ /20%  $CO_2$  apresentaram maior intensidade de odor rançoso.

Além disso, tem-se descrito diminuição da maciez em carnes embaladas com atmosferas modificadas ricas em  $O_2$ . Kim et al. (2012) estudaram o efeito de embalagens com atmosfera modificada (80%  $O_2$ /20%  $CO_2$ ) sobre a carne ovina refrigerada e armazenada por oito dias, verificaram aumentos de no índice de TBARS e na força de cisalhamento. Os autores observaram através de eletroforese em gel que as cadeias pesadas de miosina sofrem agregação após exposição prolongada a atmosferas ricas em  $O_2$ . O processo de agregação das cadeias pesadas de miosina deriva da substituição do enxofre dos grupamentos tiol livres das cadeias por oxigênio, resultando em carbonilas, que são mais suscetíveis a ligações cruzadas e contribuem para diminuição da maciez do músculo (Zakrys-Waliwander, 2012).

Os tratamentos térmicos anteriores ao consumo influenciam no aspecto sensorial da carne ovina. Tem-se observado que o tempo decorrido em ambiente resfriado antes do congelamento da carne influencia nos parâmetros de cor, diminuindo a intensidade de vermelho, o croma (parâmetro que mede intensidade da cor) e aumentando os valores de  $H^*$ , parâmetro que mede descoloração da carne (Kim et al., 2011). Esses autores também observaram que em embalagens permeáveis ao oxigênio, a carne vai perdendo reatividade ao oxigênio com o tempo, mesmo em pressões elevadas do gás. Uma explicação plausível fundamenta-se na

deterioração do pigmento mioglobina por reações e co-fatores da dinâmica celular.

O pigmento mioglobina é relacionado ao consumo de oxigênio do músculo, dessa forma, grupos musculares mais ativos apresentam maiores níveis de mioglobina. Partindo desse princípio, animais criados extensivamente também apresentam maiores níveis de mioglobina no músculo quando comparados aos animais de mesma idade confinados (Luciano et al. 2009). Todavia, Luciano et al. (2012) avaliaram objetivamente a coloração da carne de ovinos alimentados em confinamento ou em pastejo e observaram que o sistema de alimentação não influenciou nos valores de intensidade de cor ( $C^*$ ), intensidade de vermelho ( $a^*$ ) e luminosidade da carne ( $L^*$ ).

Além do aspecto cor, a peroxidação lipídica influencia no sabor, odor e *flavor* da carne ovina. Calkins & Hodgen (2007) em extensa revisão sobre o aspecto sensorial da carne fresca descrevem mais de 62 substâncias odoríficas conhecidas como características do odor e *flavor* da carne vermelha, divididas em grupamentos voláteis, a saber: componentes sulfurados, carbonilas, hidrocarbonetos, aldeídos, cetonas, álcoois, furanos, etc. No entanto, Darnsfield (2008) estima que o *flavor* da carne seja mais complexo, composto por aproximadamente 1000 substâncias coadjuvantes.

Os ácidos graxos insaturados 14:1, 16:1, 18:0, 18:1, 18:2, 18:3, são descritos como correlacionados ao *flavor* da carne de ruminantes, muito embora, grupamentos saturados e insaturados de aldeídos, ácidos graxos livres, cetonas e carbonilas derivados desses ácidos desempenhem um papel bem mais conhecido.

É certo que carbonilas tem um papel mais preponderante no odor da carne ovina cozida que aldeídos insaturados e cetonas (Resconi et al., 2010). Em estudo mais recente, Resconi et al. (2012) propuseram as cetonas: 2,3-butanodiona, 2-octanona, 2,3-pentanodiona e 2-heptanona, 4-metil-2-pentanona, e os aldeídos: pentanal, 2-metil-butanal, e 2-furfurylthiol, 1-octen-3-ol e 2-metilpropil-acetato, como candidatos para as diferenças marcantes de aroma entre carnes cozidas em diferentes estados oxidativos.

Em estudo avaliando o efeito de diferentes óleos sobre o aspecto sensorial da carne ovina, Nute et al. (2007) observaram que o óleo de peixe e extrato de algas marinhas aumentam os teores de ácidos graxos  $\omega 3$  presentes nos fosfolípidios e alteram o *flavor* normal da carne ovina, aumentando escores para

sabor “duvidoso”, “peixe” e “pútrido”. Pode-se inferir, que as modificações no perfil de ácidos graxos alteram o perfil de compostos voláteis produzidos por ocasião do cozimento e modificam o padrão sensorial da carne (Dransfield, 2008).

### PREVENÇÃO DA OXIDAÇÃO LIPÍDICA NA CARNE OVINA

Uma grande variedade de substâncias e condições podem prevenir a oxidação da fração lipídica da carne. Geralmente, substâncias ou condições com propriedade preventivas de oxidação podem ser divididas em dois grandes grupos, a saber: substâncias eliminadoras de radicais livres e ambientes não favoráveis a peroxidação (Zhou et al., 2010).

As substâncias que eliminam radicais livres são conhecidas como antioxidantes e atuam como doadores de elétrons que estabilizam os radicais e impedem o ciclo de oxidação. Os efeitos dessas substâncias sobre a vida de prateleira da carne ovina será discutido nos dois tópicos seguintes. Nesse tópico, a discussão será direcionada para os efeitos de ambientes não favoráveis à oxidação, especificamente as embalagens.

O tipo de embalagem pode interferir preponderantemente na vida de prateleira da carne ovina. Kennedy et al. (2004) avaliaram o efeito da composição do gás em atmosfera controlada (80:20:0, 60:20:20 e 60:40:0/O<sub>2</sub>:CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>) e do relação volume carne:gás sobre a estabilidade da carne ovina e observaram que a atmosfera 80:20:0, na relação volume 2:1, foi a combinação de embalagens mais eficaz em prolongar o vermelho brilhante da carne de cordeiro. Os autores também pontuaram que a oxidação lipídica em carne de cordeiro ocorreu em um ritmo mais lento do que comparativa descoloração ou o crescimento microbiano e não foi a principal determinante da vida de prateleira.

Em outro estudo envolvendo vida de prateleira da carne ovina, Kennedy et al. (2005) avaliaram diferentes relações de gases (100:0, 90:10 ou 80:20/CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>) sobre a estabilidade da carne ovina armazenada por até sete dias e verificaram que, sob condições de varejo (4 ° C, 616 lux), a atmosfera 100:0/CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub> foi mais eficiente que as demais em prolongar a estabilidade do vermelho (a\*) e reduzir a colonização por *Pseudomonas* e coliformes. Além disso, os autores também fizeram referência à estabilidade oxidativa das carnes, relacionando o baixo nível de oxidação (0,50 mg MDA/kg de carne)

a elevada saturação de CO<sub>2</sub>. Provavelmente, níveis elevados de CO<sub>2</sub> desfavoreceram a colonização microbiana e não promoveram reações de oxidação enzimática nas frações lipídicas da carne ovina.

Berruga et al. (2005) avaliaram o efeito do vácuo e três diferentes atmosferas modificadas (R: 40% N<sub>2</sub>/60% CO<sub>2</sub>; B: 80% CO<sub>2</sub>/20% de O<sub>2</sub> e C: 80% CO<sub>2</sub>/20% N<sub>2</sub>) na cor (CIEL\*a\*b\*), aspectos sensoriais de cor, odor e colonização microbiana em carne de cordeiro. Os autores observaram que a rancidez (TBARS, mg de MDA/ kg de carne) aumentou com o tempo de armazenamento em todos os quatro grupos, mas foi mais pronunciado em B (com o O<sub>2</sub>), e menor na embalagem a vácuo. A avaliação sensorial mostrou deterioração de cor durante o armazenamento em todos os grupos, mas foi mais acentuada em C. No painel sensorial também foram detectados odores indesejáveis em carnes provenientes das embalagens B. O crescimento microbiano foi mais rápido em embalagens a vácuo, mas depois 28 dias foram semelhantes em todos os tratamentos. Em suma, os autores concluíram que as atmosferas ricas em O<sub>2</sub> promoveram maior oxidação da fração lipídica das carnes.

Soldatou et al. (2009) avaliaram a viabilidade de embalagens a vácuo ou atmosfera modificada sobre a prevenção da oxidação lipídica do “Souvlaki”, uma iguaria grega produzida com carne de cordeiro. Os autores observaram que os valores de TBA foram menores no “Souvlaki” embalado a vácuo e em atmosfera modificada 70/30 (CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>). Todavia, quando o produto não recebeu nenhum tipo de embalagem especial, os números de TBA subiram de 1,83 mg MDA/kg de carne no dia um até 4,80 mg MDA/kg de carne no dia sete de estocagem, evidenciando deterioração grave da fração lipídica do produto.

Estudos recentes vêm desenvolvendo novos produtos com atividade antioxidante. Os filmes com ativos antioxidantes vêm ganhando espaço no mercado, principalmente para atender a demanda por redução da adição de antioxidantes, naturais ou artificiais, diretamente nos produtos cárneos (Nérin et al., 2008; Zinoviadou et al., 2009; Zhou et al., 2010). Camo et al. (2008) avaliaram o efeito de embalagens com filmes ativos de capacidade antioxidante sobre a vida de prateleira da carne ovina e observaram que o filme ativo de orégano foi superior ao filme ativo de alecrim na conservação das características de odor e sabor da carne ovina, prolongando por até 13 dias a vida de prateleira quando comparada ao tratamento controle.

## EFEITO DE SUBSTÂNCIAS ANTIOXIDANTES NA QUALIDADE DA CARNE OVINA

A resistência normal de carne para o desenvolvimento de rancidez depende do equilíbrio entre a presença de antioxidantes nos tecidos dos animais, o nível de insaturação e a concentração dos ácidos graxos presentes.

A utilização de óleos vegetais para prevenção da peroxidação lipídica parte do pressuposto que essas substâncias contenham em sua composição carotenoides. Essas moléculas possuem propriedades antioxidantes estabilizadora dos radicais livres através de doação de elétrons para estabilização da substância reativa. Kanatt et al. (2007) estudaram o efeito do extrato de hortelã (*Mentha spicata* L.) na redução da oxidação lipídica sofrida pela carne ovina irradiada e observaram menores valores de TBARS (18% e 34% menos) após a irradiação da carne contendo 0,05% e 0,1% de extrato de hortelã, respectivamente, quando comparada a carne irradiado não tratada. Em armazenamento refrigerado, houve aumento significativo no TBARS em amostras irradiadas que não continham o extrato de menta. O tratamento antioxidante reduziu a oxidação lipídica em todas as amostras irradiadas durante todo o período de armazenamento, após quatro semanas de armazenamento refrigerado, o TBARS em carne irradiada contendo extrato de menta (0,1%) foi metade do que em carne irradiada não tratada.

Karabagias et al. (2011) avaliaram o efeito do óleo de tomilho (*Thymus vulgaris*) ou óleo de orégano (*Origanum vulgare*) sobre a extensão da vida de prateleira da carne ovina e observaram que os valores de TBARS variaram entre os tratamentos, mas mantiveram-se abaixo de 4 mg de MDA/kg de carne. Baseado primeiramente na análise sensorial (odor), mas também na análise microbiológica, os autores observaram que a vida de prateleira da carne de cordeiro embalado aerobiamente foi de sete dias. A vida de prateleira do produto foi prolongada por 2-3 dias com a adição de 0,1% do óleo de tomilho e 14-15 dias, utilizando a combinação de atmosfera modificada (80% O<sub>2</sub>) com óleo de tomilho. Em estudo semelhante avaliando o extrato de alecrim (*Rosmarinus officinalis*) na preservação da estabilidade oxidativa da carne ovina, Bañon et al. (2012) observaram que o tratamento foi eficiente em aumentar a vida de prateleira, inibindo claramente a oxidação lipídica e a formação do ranço.

Os efeitos antioxidantes dos óleos vegetais também podem ser observados nas carnes resfriadas e congeladas (Tabela 2).

Devido às implicações tecnológicas e sensoriais, tem-se pesquisado a possibilidade de adição dos antioxidantes diretamente na dieta dos animais, obtendo-se efeitos positivos e indiretos na preservação dos lipídeos da carne. Todavia, devido à digestão característica dos ovinos, existe a preocupação que os grupos bioquímicos percam suas propriedades antioxidantes com a biohidrogenação. Com vistas a resolução dessa problemática, Lee et al. (2007a) conduziram estudo avaliando diferenças na deposição de  $\gamma$ -tocoferol no tecido adiposo de ovinos alimentados com óleo de soja tratado com diacetil e acetaldeído e observaram maior deposição de  $\gamma$ -tocoferol quando a óleo foi tratado com diacetil, indicando que a proteção dos corpos graxos da biohidrogenação reflete positivamente na vida de prateleira da carne ovina. Lee et al. (2007b) verificaram que o tratamento de diacetil aumentou os valores circulantes de  $\gamma$ -tocoferol de 0,27  $\mu$ g/mL no tratamento controle para 2,11  $\mu$ g/mL nos animais alimentados com óleos tratados com diacetil. Apesar dessas repostas, em estudo mais recente Moloney et al. (2012) avaliaram a inclusão de óleo de camelina (*Camelina sativa*), óleo de linhaça, sementes de camelina tratadas com NaOH, sementes de linhaça tratadas com NaOH sobre a vida de prateleira da carne ovina. Não houve diferença entre as fontes de gordura protegida ou não na vida de prateleira da carne ovina, todavia os autores observaram que as carnes provenientes dos tratamentos com linhaça apresentaram maiores teores de ácidos graxos  $\omega$ 3 e maiores valores de TBARS, indicando menor vida de prateleira.

Lee et al. (2007b) verificaram que o tratamento de diacetil aumentou os valores circulantes de  $\gamma$ -tocoferol de 0,27  $\mu$ g/mL no tratamento controle para 2,11  $\mu$ g/mL nos animais alimentados com óleos tratados com diacetil. Apesar dessas repostas, em estudo mais recente Moloney et al. (2012) avaliaram a inclusão de óleo de camelina (*Camelina sativa*), óleo de linhaça, sementes de camelina tratadas com NaOH, sementes de linhaça tratadas com NaOH sobre a vida de prateleira da carne ovina. Não houve diferença entre as fontes de gordura protegida ou não na vida de prateleira da carne ovina, todavia os autores observaram que as carnes provenientes dos tratamentos com linhaça apresentaram maiores teores de ácidos graxos  $\omega$ 3 e maiores valores de TBARS, indicando menor vida de prateleira.

Tabela 2. Efeito da refrigeração (a 4°C) e do período congelado (a -20°C) de armazenamento (médias ± DP) na oxidação lipídica do músculo *Longuissimus* em função da suplementação com óleo de orégano (Adaptado de Simitzis et al. 2008)

MDA (ng/g)	Machos		Fêmeas	
	Controle <sup>a</sup>	Orégano <sup>b</sup>	Controle <sup>a</sup>	Orégano <sup>b</sup>
Período de estocagem (dias, a 4°C)				
0	28,0±1,80 <sup>c</sup>	20,5±1,9 <sup>d</sup>	29,2±1,72 <sup>c</sup>	20,0±1,63 <sup>d</sup>
3	57,1±2,38 <sup>c</sup>	28,0±2,50 <sup>d</sup>	60,2±2,26 <sup>c</sup>	30,8±2,14 <sup>d</sup>
6	82,3±2,77 <sup>c</sup>	56,9±2,92 <sup>d</sup>	65,5±2,64 <sup>d</sup>	40,5±2,50 <sup>d</sup>
9	247,4±6,17 <sup>c</sup>	102,6±6,49 <sup>d</sup>	245,0±5,88 <sup>c</sup>	96,6±5,56 <sup>d</sup>
Período de estocagem (meses, a -20°C)				
0	28,0±1,80 <sup>c</sup>	20,5±1,90 <sup>d</sup>	29,2±1,72 <sup>c</sup>	20,0±1,63 <sup>d</sup>
1	30,0±1,66 <sup>c</sup>	21,0±1,74 <sup>d</sup>	32,0±1,58 <sup>c</sup>	21,9±1,49 <sup>d</sup>
2	33,6±1,60 <sup>c</sup>	21,5±1,97 <sup>d</sup>	37,2±1,53 <sup>c</sup>	24,1±1,44 <sup>d</sup>
3	35,3±1,87 <sup>c</sup>	22,5±1,97 <sup>d</sup>	42,7±1,78 <sup>c</sup>	27,2±1,68 <sup>d</sup>
4	42,0±2,25 <sup>c</sup>	24,2±2,37 <sup>d</sup>	48,8±2,15 <sup>c</sup>	33,0±2,03 <sup>d</sup>

a, b grupo controle foi alimentado com uma dieta composta de alimentos concentrados e feno de alfafa, enquanto o grupo orégano consumiu a mesma dieta, com o único diferença que se alimentam concentrado foi uniformemente pulverizada com orégano óleo essencial (1 ml / kg). Número de cordeiros por tratamento é de 4 machos e 4 fêmeas. Médias acompanhadas de letras diferentes dentro da mesma linha são significativamente diferentes (P < 0,001).

Além de óleos essenciais usados como fontes de terpenos antioxidantes, tem-se pesquisado as propriedades antioxidantes dos compostos fenólicos. Ainda não se conhece ao certo como os compostos fenólicos afetam o metabolismo lipídico, mas influenciam sobre a ação das lipoxigenase e cicloxigenase, além do sequestro de radicais livres são as principais hipóteses (Luciano et al., 2009).

Avaliando diferentes fontes de tanino na dieta de ovinos, Jerónimo et al. (2012) observaram que a carne de ovinos suplementados com extrato de semente de uva ou *Cistus ladanifer* apresentaram estabilidade oxidativa maior, 5,07 e 5,10 mg MDA/kg de carne, respectivamente, que animais não suplementados (6,00 mg MDA/kg de carne). Em publicação anterior referente ao mesmo estudo, Vasta et al. (2010) observou a presença 2,2,6-trimetil-ciclo-hexanona e verbenona, uma cetona e um terpeno, respectivamente, provenientes do *Cistus ladanifer*, nos voláteis do músculo ovino. Os autores inferiram que a passagem direta de compostos da dieta para o músculo, além de exercerem efeitos prováveis na vida de prateleira podem alterar as características sensoriais da carne ovina.

Os tocoferóis são substâncias com propriedades antioxidantes estabilizadoras de radicais livres. A vitamina E pertence ao grupo dos tocoferóis e atua na membrana plasmática das células, doando elétrons e impedindo a lesão das membranas por

substâncias reativas. Diversos estudos vêm sendo conduzidos avaliando o efeito da suplementação da vitamina E sobre a atividade antioxidante (Juárez et al., 2012). Kasapidou et al. (2012) observaram que os efeitos antioxidantes promovidos pela vitamina E dependem das suas concentrações dietéticas (Tabela 3).

Lauzurica et al. (2005) avaliaram a suplementação de cordeiros com níveis crescentes de vitamina E (0, 250, 500 e 1000 mg/kg de alimento) durante 37 dias e observaram que a vitamina E dietética aumentou a vida de prateleira de carne embalada sob atmosfera modificada para 14 dias. A carne manteve sua qualidade durante 28 dias de armazenamento apenas quando os animais foram alimentados com o suplemento 1000 mg / kg de dieta. Em estudo mais recente, Ripoll et al. (2011) estudaram a vida de prateleira da carne de ovina recebendo concentrado com níveis normais de vitamina E, um concentrado enriquecido com vitamina E, um concentrado com selenito de sódio e um concentrado enriquecido com a vitamina E e selenito de sódio. Os autores observaram que a carne de cordeiros que receberam um suplemento de vitamina E na dieta exibiram valores muito mais baixos de TBARS do que aqueles de TBARS não suplementados. O uso dietético da vitamina E aumentou por mais quatro dias a vida de prateleira da carne de cordeiro armazenada em embalagens de atmosfera modificada (80% O<sub>2</sub>).

Tabela 3. Oxidação lipídica (TBARS mg / kg músculo) durante a apresentação em varejo simulado. Adaptado de Kasapidou et al. (2012).

Apresentação (dias)	Tratamentos							DP	P
	C30	C60	C120	C250	C500	S60	S500		
3	1,205 <sup>b</sup>	0,938 <sup>b</sup>	0,280 <sup>a</sup>	0,098 <sup>a</sup>	0,048 <sup>a</sup>	0,194 <sup>a</sup>	0,069 <sup>a</sup>	0,144	***
6	2,425 <sup>b</sup>	1,976 <sup>b</sup>	0,564 <sup>a</sup>	0,186 <sup>a</sup>	0,072 <sup>a</sup>	0,241 <sup>a</sup>	0,087 <sup>a</sup>	0,264	***

Acetato de  $\alpha$ -tocoferol contendo 30 (C30), 60 (C60), 120 (C120), 250 (C250) e 500 (C500) mg/kg de matéria seca. Dois outros grupos foram alimentados com silagem de capim e 400 g de concentrado / dia, com 60 (S60) ou 500 (S500) mg acetato de  $\alpha$ -tocoferol/kg de matéria seca. \*\*\* P < 0.001; Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha diferem significativamente.

Além da adição direta dos antioxidantes nos produtos cárneos ou na dieta dos animais, podem-se estimular os sistemas de prevenção endógena de formação de radicais livres nos ovinos, a exemplo da suplementação com selênio. Esse mineral participa da composição da glutathione peroxidase, mecanismo enzimático eliminador de radicais livres das células (Liu et al. 2011). Vignola et al. (2009) estudaram o efeito de diferentes fontes de selênio (Selenito de sódio, 0,30 mg de selênio orgânico proveniente de leveduras, 0,45 mg de selênio orgânico proveniente de leveduras) sobre a oxidação lipídica da carne de cordeiros refrigerada (0, 3, 6 e 9 dias) e observaram que os índices de TBARS aumentaram com o período de armazenamento e foram maiores nas carnes provenientes de animais que não receberam suplementação de selênio por qualquer fonte (135,19 mg de MDA/kg de carne) em detrimento aos suplementados (94,58 mg de MDA/kg de carne).

A administração de dietas pode modificar a expressão de genes no corpo dos animais. Sgorlon et al. (2006) estudaram o efeito da administração de antioxidantes naturais (bagaço de tomate, casca de uva ou tocoferol) sobre a expressão de genes do sistema antioxidante do corpo de ovinos e observaram que a suplementação com casca de uva foi mais efetiva em aumentar a expressão de genes da glutathione-S-transferase e da superóxido dismutase quando comparado ao bagaço de tomate ou tocoferol.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os processos de oxidação lipídica na carne são influenciados por diversos fatores, a saber: perfil de ácidos graxos, quantidade de mioglobina, estado químico do ferro presente na carne ovina, aplicação de radiações e outros processos tecnológicos da indústria de alimentos.

Os principais efeitos da oxidação lipídica sobre os produtos cárneos são alterações no sabor, odor e *flavor*. Alterações significativas nas características

de cor, também tem impacto na aceitabilidade dos produtos cárneos oxidados.

As principais tecnologias de prevenção da oxidação lipídica são uso de embalagens e uso de antioxidantes. Apesar de efeitos diferenciados, o objetivo é o prolongamento da vida de prateleira da carne através da prevenção ou eliminação dos radicais livres.

A utilização de antioxidantes naturais na dieta dos ovinos vem apresentando resultados satisfatórios. Os taninos, tocoferóis e outras substâncias solúveis em óleo presentes em extratos vegetais apresentam efeitos antioxidantes. São necessárias pesquisas que desvendem os mecanismos de ação dessas moléculas e seus efeitos sobre as características sensoriais da carne ovina.

A utilização de embalagens e antioxidantes prolonga a vida de prateleira da carne ovina em 10 ou quinze dias em condições de varejo. São necessários mais estudos que avaliem efeitos associados das embalagens e dos antioxidantes sobre a qualidade da carne ovina.

### REFERÊNCIAS

- Alfaia, C. M.M., Ribeiro, P. J.L.C., Trigo, M. J.P., Alfaia, A. J.I., Castro, M. L.F., Fontes, C. M.G.A., Bessa, R. J.B. & Prates, J. A.M. 2007. Irradiation effect on fatty acid composition and conjugated linoleic acid isomers in frozen lamb meat. *Meat Sci.* 77, 689–695.
- Aliño, M., Grau, R., Toldrá, F., Blesa, E., Pagán, M.J. & Barat, J.M. 2009. Influence of sodium replacement on physicochemical properties of dry-cured loin. *Meat Sci.* 83, 423–430.
- Bañón, S., Méndez, L. & Almela, E. 2012. Effects of dietary rosemary extract on lamb spoilage under retail display conditions. *Meat Sci.* 90, 579–583.
- Berruga, M. I., Vergara, H. & Gallego, L. 2005. Influence of packaging conditions on microbial and lipid oxidation in lamb meat. *Small Rumin. Res.* 57:257-264.

- Bolumar, T., Skibsted, L. H. & Orlien, V. 2012. Kinetics of the formation of radicals in meat during high pressure processing. *Food Chem.* 134, 2114–2120.
- Brewer, M.S. 2004. Irradiation effects on meat color – a review. *Meat Sci.* 68, 1–17.
- Brewer, M.S. 2009. Irradiation effects on meat flavor: a review. *Meat Sci.* 81,1-14.
- Calkins, C.R. & Hodgen, J.M. 2007. A fresh look at meat flavor. *Meat Sci.* 77, 63–80.
- Camo, J., Beltrán, J. A. & Roncalés, P. 2008. Extension of the display life of lamb with an antioxidant active packaging. *Meat Sci.* 80, 1086–1091.
- Chaijan, M. 2011. Physicochemical changes of tilapia (*Oreochromis niloticus*) muscle during salting. *Food Chemistry*, 129, 1201–1210.
- Cheng, A., Wanb, F., Xu, T., Dua, F., Wang, W. & Zhu, Q. 2011. Effect of irradiation and storage time on lipid oxidation of chilled pork. *Rad. Phy. Chem.* 80, 475–480.
- Cheng, J., Fan, C., Zhang, W., Yan, X., Wang, L., Jia, Z. & Zhu, X. 2010. Effects of dietary copper source and level on metabolic hormones and lipogenic and lipolytic enzyme activities in lambs. *Small Rumin. Res.* 89, 12–17.
- Costa, R.G., Medeiros, G.R., Duarte, T.F., Pedrosa, N.A., Voltolini, T.V. & Madruga, M.S. 2011. Salted goat and lamb meat: Typical regional product of the city of Petrolina, state of Pernambuco. *Small Rum. Res.* 98, 51–54.
- Descalzo, A.M. & Sancho, A.M. 2008. A review of natural antioxidants and their effects on oxidative status, odor and quality of fresh beef produced in Argentina. *Meat Sci.* 79, 423–436.
- Desmond, E. 2006. Reducing salt: A challenge for the meat industry. *Meat Sci.* 74, 188–196.
- Dransfield, E. 2008. The taste of fat. *Meat Sci.* 80, 37–42.
- FAO (2008) STATISTICAL APPENDIX. Total meat statistics. Disponível em : <http://www.fao.org/docrep/011/ai474e/ai474e14.htm>. Acesso em 26/08/2012.
- Faustman, C., Sun, Q., Mancini, R. & Suman, S. P. 2010. Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control. *Meat Sci.* 86, 86–94.
- Gandemer, G. 2002. Lipids in muscles and adipose tissues, changes during processing and sensory properties of meat products. *Meat Sci.* 62, 309–321.
- Jerónimo, E., Alfaia, C.M.M., Alves, S.P., Dentinho, M.T.P., Prates, J.A.M., Vasta, V., Santos-Silva, J. & Bessa, R.J.B. 2012. Effect of dietary grape seed extract and *Cistus ladanifer* L. in combination with vegetable oil supplementation on lamb meat quality, *Meat Sci.*, doi: 10.1016/j.meatsci.2012.07.011.
- Juárez, M., Dugan, M. E.R., Aldai, N., Basarab, J. A., Baron, V. S., McAllister, T. A. & Aalhus, J. L. 2012. Beef quality attributes as affected by increasing the intramuscular levels of vitamin E and omega-3 fatty acids. *Meat Sci.* 90, 764–769.
- Kanatt, S. R., Chander, R. & Sharma, A. 2006. Antioxidant potential of mint (*Mentha spicata* L.) in radiation-processed lamb meat. *Food Chem.* 100, 451–458.
- Kanatt, S. R., Chander, R. & Sharma, A. 2007. Antioxidant potential of mint (*Mentha spicata* L.) in radiation-processed lamb meat. *Food Chem.* 100, 451–458.
- Karabagias, I., Badeka, A. & Kontominas, M.G. 2011. Shelf life extension of lamb meat using thyme or oregano essential oils and modified atmosphere packaging. *Meat Sci.* 88, 109–116.
- Karami, M., Alimon, A.R., Sazili, A.Q., Goh, Y.M. & Ivan, M. 2011. Effects of dietary antioxidants on the quality, fatty acid profile, and lipid oxidation of longissimus muscle in Kacang goat with aging time. *Meat Sci.* 88, 102–108.
- Kasapidou, E., Wood, J.D., Richardson, R.I., Sinclair, L.A., Wilkinson, R.G. & Enser, M. 2012. Effect of vitamin E supplementation and diet on fatty acid composition and on meat colour and lipid oxidation of lamb leg steaks displayed in modified atmosphere packs. *Meat Sci.* 90, 908–916.
- Kathirvel, P. & Richards, M. P. 2012. Effect of a membrane permeable metal chelator on iron and hemoglobin-mediated lipid oxidation in washed fish muscle. *Food Res. Inter.* 48, 346–352.
- Kennedy, D.J. & Buckley, J.P.K. 2004. Display life of sheep meats retail packaged under atmospheres of various volumes and compositions. *Meat Sci.* 68, 649–658.
- Kennedy, O.B., Stewart-Knox, B.J., Mitchell P.C. & D.I. Thurnham. 2005. Vitamin E supplementation, cereal feed type and consumer sensory perceptions of poultry meat quality. *British J. Nut.* 93, 333-338.
- Khlijji, S., Ven, R. van, Lamb, T.A., Lanza, M. & Hopkins, D.L. 2010. Relationship between consumer ranking of lamb colour and objective measures of colour. *Meat Sci.* 85, 224–229.
- Kim, Y. H. B., Bødker, S. & Rosenvold, K. 2012. Influence of lamb age and high-oxygen modified atmosphere packaging on protein polymerization of long-term aged lamb loins. *Food Chem.* 135,122–126.

- Kim, Y. H. B., Frandsen, M. & Rosenvold, K. 2011. Effect of ageing prior to freezing on colour stability of ovine longissimus muscle. *Meat Sci.* 88, 332–337.
- Laguerre, M., Lecomte, J. & Villeneuve, P. 2007. Evaluation of the ability of antioxidants to counteract lipid oxidation: existing methods, new trends and challenges. *Progress in Lipid Research*, 46, 244–282.
- Lambert, A. D., Smith, J. P., Dodds, K. L. 1991. Shelf life extension and microbiological safety of fresh meat - a review. *Food Microbiology*. 8, 267–297.
- Lauzurica, S., Fuente, J. M., Díaz, T., Álvarez, I., Pérez, C. & Canêque, V. 2005. Effect of dietary supplementation of vitamin E on characteristics of lamb meat packed under modified atmosphere. *Meat Sci.* 70, 639–646.
- Lawrie, R.A. 2005. *Ciência da carne*. 6 ed. Artimed Editora: São Paulo, 322 p.
- Lee, J.H., Waller, J.C. & Melton, S.L. 2007a. Distribution of fatty acids and effect of chemically treated ground, full-fat soybean supplements on tocopherols concentrations in crossbred (Dorset×Suffolk) lambs. *Small Rumin. Res.* 68, 269–278.
- Lee, J.H., Waller, J.C., Yilmaz, Y. & Melton, S.L. 2007b. Effect of feeding rumen-protected dietary protein–oil supplements on fatty acid composition and  $\mu$ -tocopherol content of blood serum and muscle lipids of lambs. *Small Rumin. Res.* 72, 101–110.
- Leygonie, C., Britz, T.J. & Hoffman, L.C. 2012. Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review. *Meat Sci.* 91, 93 – 98.
- Limbo, S., Torri, L., Sinelli, N., Franzetti, L. & Casiraghi, E. 2010. Evaluation and predictive modeling of shelf life of minced beef stored in high-oxygen modified atmosphere packaging at different temperatures. *Meat Sci.* 84, 129–136.
- Linares, M.B., Berruga, M.I., Bórnez, R. & Vergara, H. 2007. Lipid oxidation in lamb meat: Effect of the weight, handling previous slaughter and modified atmospheres. *Meat Sci.* 76, 715–720.
- Liu, S.M., Sun, H.X., Jose, C., Murray, A., Sun, Z.H., Briegel, J.R., Jacob, R. & Tan, Z.L. 2011. Phenotypic blood glutathione concentration and selenium supplementation interactions on meat colour stability and fatty acid concentrations in Merino lambs. *Meat Sci.* 87, 130–139.
- Lorenzo, J.M. & Gómez, M. 2012. [Shelf life of fresh foal meat under MAP, overwrap and vacuum packaging conditions](#). *Meat Sci.* 92,610-8.
- Luciano, G., Biondi, L., Pagano, R.I., Scerra, M., Vasta, V., López-Andrés, P., Valenti, B., Lanza, M., Priolo, A. & Avondo, M. 2012. The restriction of grazing duration does not compromise lamb meat colour and oxidative stability. *Meat Sci.* 92, 30–35.
- Luciano, G., Monahan, F.J., Vasta, V., Pennisi, P., Bella, M. & Priolo, A. 2009. Lipid and colour stability of meat from lambs fed fresh herbage or concentrate. *Meat Sci.* 82, 193–199.
- McMeekin, T. A. & Ross, T. 1996. Shelf life prediction: status and future possibilities. *International Journal of Food Microbiology*. 33, 65–83. *Meat Sci.* 79, 217–223.
- Min, B., Cordray, J. C. & Ahn, D. U. 2011. Antioxidant effect of fractions from chicken breast and beef loin homogenates in phospholipid liposome systems. *Food Chem.* 128, 299–307.
- Min, B., Nam, K.C., Cordray, J. & Ahn, D.U. 2008. Endogenous factors affecting oxidative stability of beef loin, pork loin, and chicken breast and thigh meats. *J. Food Sci.* 73, 438–446.
- Moloney, A.P., Kennedy, C., Noci, F., Monahan, F.J. & Kerry, J.P. 2012. Lipid and colour stability of M. longissimus muscle from lambs fed camelina or linseed as oil or seeds. *Meat Sci.* 92, 1–7.
- Muela, E., Sañudo, C., Campo, M.M., Medel, I. & Beltrán, J.A. 2010a. Effects of cooling temperature and hot carcass weight on the quality of lamb. *Meat Sci.* 84, 101–107.
- Muela, E., Sañudo, C., Campo, M.M., Medel, I. & Beltrán, J.A. 2010b. Effect of freezing method and frozen storage duration on instrumental quality of lamb throughout display. *Meat Sci.* 84, 662–669.
- Nelson, D. L. & Cox, M. M. 2006. *Lehninger principios da bioquímica* 4. ed. São Paulo: Sarvier, 1202 p.
- Nerín, A., Tovar, L. & Salafranca, J. 2008. Behaviour of a new antioxidant active film versus oxidizable model compounds. *J. Food Engineering*. 84, 313–320.
- Nieto, G., Bãnon, S. & Garrido, M. D. 2012. Incorporation of thyme leaves in the diet of pregnant and lactating ewes: Effect on the fatty acid profile of lamb. *Small Rumin. Res.* 105, 140–147.
- Nieto, G., Díaz, P., Bãnon, S. & Garrido, M. D. 2010. Dietary administration of ewe diets with a distillate from rosemary leaves (*Rosmarinus officinalis* L.): Influence on lamb meat quality. *Meat Sci.* 84, 23–29.
- Nieto, G., Díaz, P., Bãnon, S. & Garrido, M. D. 2012. Effect on lamb meat quality of including thyme (*Thymus zygis* ssp. *gracilis*) leaves in ewes' diet. *Meat Sci.* 85, 82–88.
- Nieto, G., Estrada, M., Jordan, M. J., Garrido, M. D., Banon, S. 2011. Effects in ewe diet of rosemary by-product on lipid oxidation and the eating quality of

cooked lamb under retail display conditions. *Food Chem.* 124, 1423–1429.

Nute, G.R., Richardson, R.I., Wood, J.D., Hughes, S.I., Wilkinson, R.G., O'Sullivan, M.G., Byrne, D.V., Nielsen, J.H., Andersen, H.J. & Martens, M. 2003. Sensory and chemical assessment of pork supplemented with iron and vitamin E. *Meat Sci.* 64, 175–189.

OCDE; FAO. 2006. Agricultural outlook 2006-2015, Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e Agência para Agricultura e Alimentação (FAO/ONU). Disponível em: <[http://www.oecd.org/document/62/0,2340,en\\_2649\\_201185\\_37032958\\_1\\_1\\_1,00.html#Highlights](http://www.oecd.org/document/62/0,2340,en_2649_201185_37032958_1_1_1,00.html#Highlights)>. Acessado em: 21/08/2012.

Olivo, R. & Shimokomaki, M. 2006. Suplementação de vitamina E melhora a qualidade da carne e derivados. In: Shimokomaki, M., Olivo, R., Terra, N. N., Franco, B. D. G. M. *Atualidades em ciência e tecnologia de carnes*. São Paulo: Livraria Varela, 115-121.

Osawa, C. C., Felício, P. E., Gonçalves, L. A. G. 2005. Teste de TBA aplicado a carnes e derivados: métodos tradicionais, modificados e alternativos. *Quim. Nova*, 28, 655-663.

O'Sullivan, A., Galvin, K., Moloney, A. P., Troy, D. J., O'Sullivan, K. & Kerry, J. P. 2003. Effect of pre-slaughter ratios of forages and or concentrates on the composition and quality of retail packaged beef. *Meat Sci.* 63, 279–286.

Park, Y.W. & Attaie, R. 1988. Iron Contents of Muscle Meat and Liver in Alpine and Nubian Goats. *Small Rumin. Res.* 1, 387-395.

Ponnampalam, E. N., Butler, K. L., McDonagh, M. B., Jacobs, J. L. & Hopkins, D. L. 2012. Relationship between muscle antioxidant status, forms of iron, polyunsaturated fatty acids and functionality (retail colour) of meat in lambs. *Meat Sci.* 90, 297–303.

Ramos, A., Cabrera, M.C. & Saadoun, A. 2012. Bioaccessibility of Se, Cu, Zn, Mn and Fe, and heme iron content in unaged and aged meat of Hereford and Braford steers fed pasture. *Meat Sci.* 91, 116–124.

Resconi, V. C., Escudero, A., Beltrán, J. A., Olleta, J. L., Sánudo, C. & Campo, M. M. 2012. Color, Lipid Oxidation, Sensory Quality, and Aroma Compounds of Beef Steaks Displayed under Different Levels of Oxygen in a Modified Atmosphere Package. *J. Food Sci.* 71, 10-18.

Ripoll, G., Joy, M. & Muñoz, F. 2011. Use of dietary vitamin E and selenium (Se) to increase the shelf life of modified atmosphere packaged light lamb meat. *Meat Sci.* 87, 88–93.

Sampels, S., Pickova, J. & Wiklund, E. 2004. Fatty acids, antioxidants and oxidation stability of processed reindeer meat. *Meat Sci.* 67, 523–532.

Santé-Lhoutellier, V., Engel, E. & Gatellier, P. 2008. Assessment of the influence of diet on lamb meat oxidation. *Food Chem.* 109, 573–579.

Sgorlon, S., Stradaioli, G., Zanin, D. & Stefanon, B. 2006. Biochemical and molecular responses to antioxidant supplementation in sheep. *Small Rumin. Res.*, 64, 143–151.

Simitzis, P.E., Deligeorgis, S.G., Bizelis, J.A., Dardamani, A., Theodosiou, I. & Fegeros, K. 2008. Effect of dietary oregano oil supplementation on lamb meat characteristics. *Meat Sci.* 67, 523–532.

Soldatou, N., Nerantzaki, A., Kontominas, M.G. & Savvaidis, I.N. 2009. Physicochemical and microbiological changes of “Souvlaki” – A Greek delicacy lamb meat product: Evaluation of shelf-life using microbial, colour and lipid oxidation parameters. *Food Chem.* 113, 36–42.

Teixeira, A., Pereira, E. & Rodrigues, S. 2011. Goat meat quality. Effects of salting, air-drying and ageing processes. *Small Rumin. Res.* 98, 1-3.

[Troy, D.J.](#) & [Kerry, J.P.](#) 2010. Consumer perception and the role of science in the meat industry. [Meat Sci](#), 86, 214-226.

Vasta, V., Jerónimo, E., Brogna, D.M.R., Dentinho, M.T., Biondi, P., Santos-Silva, L. J., Priolo, A. & Bessa, R.J.B. 2010. The effect of grape seed extract or Cistus ladanifer L. on muscle volatile compounds of lambs fed dehydrated lucerne supplemented with oil. *Food Chem.* 119, 1339–1345.

Vignola, G., Lambertini, L., Mazzone, G., Giammarco, M., Tassinari, M., Martelli, G. & Bertin, G. 2009. Effects of selenium source and level of supplementation on the performance and meat quality of lambs. *Meat Sci.* 81, 678–685.

Weeb, E.C. & O'Neill, H.A. 2008. The animal fat paradox and meat quality. *Meat Sci* 80, 28–36.

Wheatley, R.A. 2000. Some trends in the analytical chemistry of lipid peroxidation. *Trends in Analytical Chemistry*, 19(10):617-628.

Wojciak, K. M. & Dolatowski, Z. J. 2012. Oxidative stability of fermented meat products. *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.* 11, 99-109.

Yang, D.Y., Chang, C.J., Peh, H.C. & Chen, M.T. 2004. Anti-peroxidation effects of vitamin E on low density lipoprotein and milk fat globule membrane of lactating goats: in vivo versus metal ion challenge in vitro. *Comp. Bio. Phys.*, 139, 11–20.

Zakrys-Waliwander, P.I., O'Sullivan, M.G., O'Neill, E.E. & Kerry, J.P. 2012. The effects of high oxygen modified

atmosphere packaging on protein oxidation of bovine *M. longissimus dorsi* muscle during chilled storage. *Food Chem.* 131, 527–532.

Zhou, G.H., Xu, X.L. & Liu, Y. 2010. Preservation technologies for fresh meat – A review. *Meat Sci.* 86, 119–128.

Zinoviadou, K. G., Koutsoumanis, K. P. & Biliaderis, C. G. 2009. Physico-chemical properties of whey protein isolate films containing oregano oil and their antimicrobial action against spoilage flora of fresh beef. *Meat*