



PAULO CÉSAR GONZALES DIAS JUNIOR

**ÓLEO DE MACADÂMIA E VITAMINA E PARA
CORDEIROS: QUALIDADE DA CARNE, PERFIL DE ÁCIDOS
GRAXOS E EXPRESSÃO GÊNICA**

LAVRAS – MG

2019

PAULO CÉSAR GONZALES DIAS JUNIOR

**ÓLEO DE MACADÂMIA E VITAMINA E PARA CORDEIROS:
QUALIDADE DA CARNE, PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS E EXPRESSÃO GÊNICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção e Nutrição de Ruminantes, para a obtenção do título de Mestre.

Prof(a). Dra. Iraides Ferreira Furusho Garcia

Orientadora

Prof(a) Dra. Nadja Gomes Alves

Co-Orientadora

LAVRAS – MG

2019

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Dias Junior, Paulo César Gonzales.

Óleo de Macadâmia e Vitamina E para Cordeiros: Qualidade da Carne, Perfil de Ácidos Graxos e Expressão Gênica / Paulo César Gonzales Dias Junior. - 2019.

102 p.

Orientador(a): Iraides Ferreira Furusho-Garcia.

Coorientador(a): Nadja Gomes Alves.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Lipogênese. 2. Palmitoleico. 3. Ovinos. I. Furusho-Garcia, Iraides Ferreira. II. Alves, Nadja Gomes. III. Título.

PAULO CÉSAR GONZALES DIAS JUNIOR

**ÓLEO DE MACADÂMIA E VITAMINA E PARA CORDEIROS:
QUALIDADE DA CARNE, PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS E EXPRESSÃO GÊNICA**

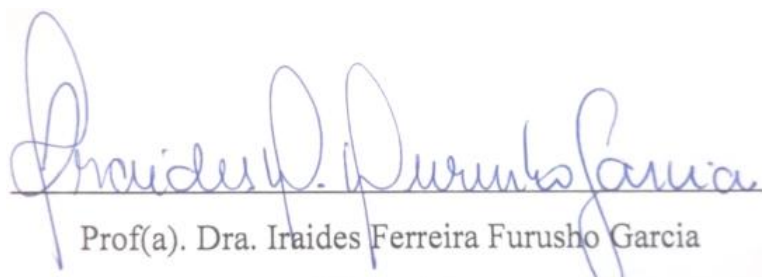
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 28 de janeiro de 2019.

Dra. Alcinéia de Lemos Souza Ramos – DCA - UFLA

Dr. Idalmo Garcia Pereira – DZOO - UFMG

Dra. Karina Costa Busato – DZO - UFV



Prof(a). Dra. Iraides Ferreira Furusho Garcia
Orientadora

LAVRAS – MG

2019

A Deus pelo dom da vida e sabedoria;

aos meus pais Paulo César e Janete;

ao meu avô Antônio (in memoriam)

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida concedida para que pudesse chegar até aqui.

Agradeço ao meu pai Paulo César Gonzales Dias e minha mãe Janete Catalano Viégas Dias, por serem exemplo de perseverança, amor, cumplicidade e temor a Deus.

Agradeço ao meu irmão Matheus Gonzales Dias pela amizade e por acreditar em mim.

Agradeço ao meu avô Antônio Gonzales Dias (*in memoriam*), por ter sido exemplo e protagonista da minha escolha pela Zootecnia.

Agradeço a minha orientadora Iraides Ferreira Furusho Garcia pelos anos de convivência. Muito obrigado por contribuir para a minha formação pessoal e profissional. Agradeço pela amizade, compreensão, paciência e confiança.

Agradeço a Isabela Jorge dos Santos pela amizade, cumplicidade e paciência. Você foi uma das grandes precursoras para que esse sonho se realizasse.

Agradeço a professora Alcinéia de Lemos Souza Ramos pela amizade, ensinamentos transmitidos e orientação durante as análises de qualidade da carne e análise sensorial.

Agradeço a Adriana Mello Garcia pela amizade, ensinamentos transmitidos e pelos bons momentos compartilhados.

Agradeço ao professor Juan Ramon Olalquiaga Perez pela amizade, confiança e ensinamentos transmitidos.

Agradeço ao ex-funcionário do Setor de Ovinocultura – DZO, João Batista de Souza (Sr. Batista), pela amizade, conhecimentos transmitidos e por nunca medir esforços para que esse trabalho se concretizasse.

Agradeço ao Grupo de Apoio à Ovinocultura – GAO, por ter complementado minha formação como pessoa e como profissional.

Agradeço ao professor Idalmo Garcia Pereira pela amizade e conhecimentos transmitidos.

Agradeço ao Kauan Duarte, pela amizade, ajuda e compreensão.

Agradeço a Emiro Suarez pela amizade e toda ajuda durante a parte de campo desse projeto.

Agradeço aos integrantes e ex-integrantes do Grupo de Apoio à Ovinocultura – GAO Fabrício, Arnaldo, Amanda, Iris, Yasmim, Ana Paula, Luiz, Nathália, Thalita e Thales (Zé).

Agradeço a Thaty Ramalho e Renata Rocha por toda ajuda durante as análises de expressão gênica.

Agradeço a Maria Antônia (Tuca) pelos ensinamentos transmitidos durante as análises do perfil de ácidos graxos da carne.

Agradeço ao Marcio e Eliana do Laboratório Multiusuário de Pesquisa Animal por toda ajuda e ensinamentos.

Agradeço aos funcionários do Departamento de Zootecnia da UFLA, em especial ao Binho, Borginho, Zé Antônio e Bambuzinho por sempre estarem dispostos a ajudar na medida do possível.

Agradeço ao CNPq pela bolsa de mestrado e pelo apoio para condução desse trabalho.

Agradeço a todos aqueles que não foram mencionados, mas que contribuíram de alguma forma para que esse trabalho se concretizasse.

MUITO OBRIGADO!!!

RESUMO

Esse estudo investigou os efeitos da suplementação com óleo de Macadâmia (OM) e vitamina E, em cordeiros criados em diferentes sistemas de manejo sobre a qualidade físico-química e sensorial da carne, o perfil de ácidos graxos e a expressão gênica. Sessenta cordeiros (n=10) foram divididos em fatorial 2x3, dois sistemas de manejo, confinado e a pasto, contendo três suplementos experimentais (controle; com OM; e com OM + vitamina E. A gordura da carne aumentou em 31% nos animais confinados, e 20% nos animais que receberam OM, independente da presença de vitamina E ($P < 0,05$). Os animais manejados a pasto melhoraram a proporção de ácidos graxos poli-insaturados (PUFA) ômega 3 (n3) e reduziram o índice de aterogenicidade na carne ($P < 0,05$). A suplementação com OM, com ou sem vitamina E, aumentou a quantidade (mg/100g) de PUFA n3, porém também aumentou os ácidos graxos C14:0, C16:0 e C18:0 ($P < 0,05$). A suplementação com OM e vitamina E aumentou a proporção de C18:3 n3 no músculo e proporcionou melhoria no sabor da carne ($P > 0,05$). O uso de OM sem vitamina E melhorou os parâmetros de textura e impressão global da carne ($P < 0,05$). Os suplementos contendo óleo de Macadâmia e vitamina E aumentaram a expressão dos gene SCD-1 e ELOVL6 ($P < 0,05$).

Palavras chave: lipídeos, lipogênese, palmitolêico, ovinos, sensorial.

ABSTRACT

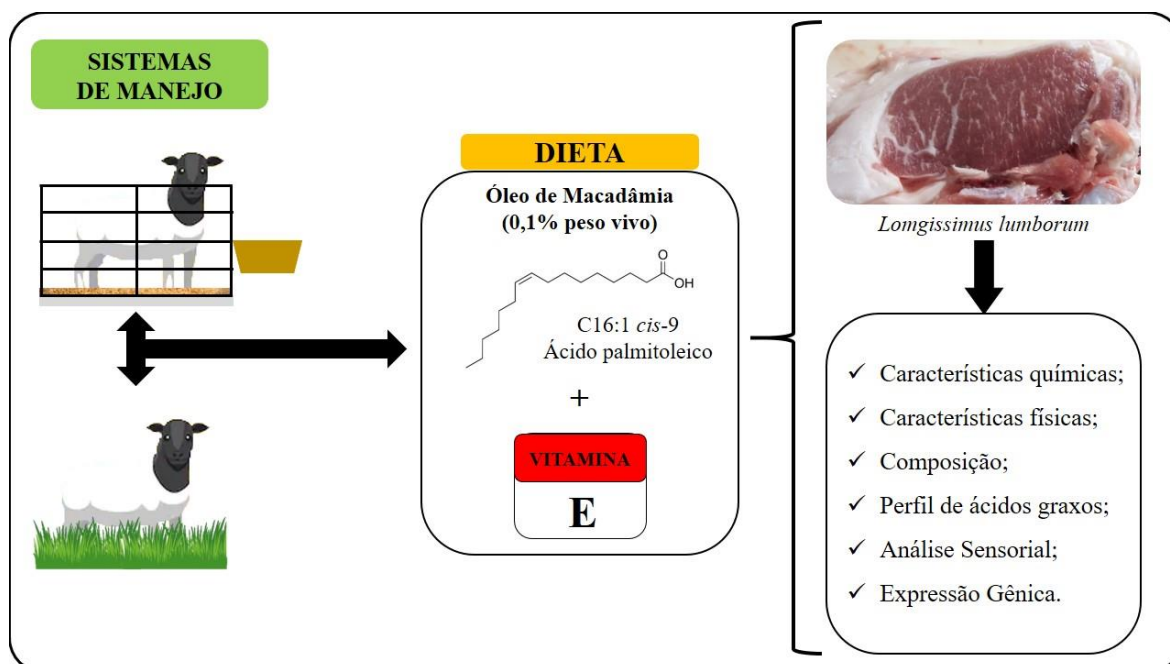
This work assessed the effects of Macadamia Oil (MO) and Vitamin E supplementation on lambs in different feeding managements about physico-chemical and sensory quality of meat, fatty acid profile and gene expression. Sixty lambs (n=10) were divided into factorial 2x3, two feeding systems, feedlot and pasture, with three experimental supplements (control, with MO, and with MO + Vitamin E). Meat fat increased 31% in feedlot animals and 20% in animals that received MO independently of vitamin E ($P < 0, 05$). The animals on pasture improved their polyunsaturated fatty acid proportions (PUFA) omega 3 (n3) and decreased the atherogenicity level of meat. The supplementation with MO with or without Vitamin E increased the amount (mg/100g) of PUFA n3, but also increased fatty acids C14:0, C16:0 and C18:0 ($P < 0, 05$). The supplementation with MO and Vitamin E increased C18:3 n3 proportion in the muscle and improved meat flavor ($P > 0, 05$). The use of MO without Vitamin E improved texture and global meat impression parameters ($P < 0, 05$). The supplements containing Macadamia and Vitamin E increased the expression of the gene SCD-1 and ELOVL6 ($P < 0, 05$).

Keywords: lipids, lipogenesis, palmitoleic, sheep, sensory.

Óleo de Macadâmia e vitamina E para cordeiros: qualidade da carne, perfil de ácidos graxos e expressão gênica

Elaborado por Paulo César Gonzales Dias Junior e orientado por Iraides Ferreira Furusho Garcia

Esse estudo investigou os efeitos da suplementação com óleo de Macadâmia (OM) rico em ácido graxo palmitoleico, associado em melhorar o metabolismo energético e vitamina E um antioxidante natural, em cordeiros criados em diferentes sistemas de manejo sobre a qualidade físico-química e sensorial da carne, o perfil de ácidos graxos e a expressão gênica. Foram utilizados sessenta cordeiros com 10 animais por tratamento, distribuídos em dois sistemas de manejo, confinado e a pasto, contendo três suplementos experimentais (controle; com OM; e com OM + vitamina E. A gordura da carne aumentou em 31% nos animais confinados, e 20% nos animais que receberam OM, independente da presença de vitamina E. Os animais manejados a pasto melhoraram a proporção de ácidos graxos poli-insaturados (PUFA) ômega 3 (n3) e reduziram o índice de aterogenicidade na carne. A suplementação com OM, com ou sem vitamina E, aumentou a quantidade (mg/100g) de PUFA n3, porém também aumentou os ácidos graxos C14:0, C16:0 e C18:0. A suplementação com OM e vitamina E aumentou a proporção de C18:3 n3 no músculo e proporcionou melhoria no sabor da carne. O uso de OM sem vitamina E melhorou os parâmetros de textura e impressão global da carne. Os suplementos contendo óleo de Macadâmia e vitamina E aumentaram a expressão dos gene SCD-1 e ELOVL6 que estão associados em dessaturar e alongar ácidos graxos.



Dissertação de Mestrado em Zootecnia na UFLA, defendida em 28/01/2019.

SUMÁRIO

PRIMERIA PARTE.....	1
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1. Ovinocultura no Brasil	2
2.2. Sistemas de Manejo	3
2.2.1. Pastagem.....	4
2.2.2. Confinamento	5
2.3. Utilização e metabolismo de lipídeos em ruminantes	5
2.4. Óleo de Macadâmia	8
2.5. Ácido palmitoleico.....	10
2.6. Vitamina E	13
2.7. Expressão de genes associados ao metabolismo lipídico	14
2.7.1. Fatos de transcrição de proteínas ligantes aos esteroides (SREBP)	15
2.7.2. Receptor ativado por receptores de peroxissoma (PPAR- α)	16
2.7.3. Estearoil-CoA dessaturase (SCD-1)	16
2.7.4. Elongases (ELOVL-5 e ELOVL-6).....	18
2.8. Qualidade da carne	19
2.8.1. Parâmetros físico-químicos e sensoriais	19
2.8.1.1. pH.....	19
2.8.1.2. Capacidade de retenção de água (CRA)	20
2.8.1.3. Perda por cozimento	21
2.8.1.4. Cor.....	22
2.8.1.5. Textura e maciez	23
2.8.1.6. Suculência	24
2.8.1.7. Flavour (odor +sabor)	24
2.8.2. Composição da carne	26
2.8.2.1. Umidade	26
2.8.2.2. Proteína	27
2.8.2.3. Extrato etéreo	28
2.8.2.4. Cinzas.....	28
2.9. Perfil de ácidos graxos e saúde humana	29
2.10. Oxidação lipídica na carne.....	30
3. REFERÊNCIAS.....	33

SEGUNDA PARTE –ARTIGO: Óleo de Macadâmia e vitamina E para cordeiros: Qualidade da Carne, Perfil de Ácidos Graxos e Expressão Gênica.....	50
1. INTRODUÇÃO.....	52
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	53
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	62
4. CONCLUSÃO.....	83
5. AGRADECIMENTOS.....	83
6. REFERÊNCIAS.....	84

PRIMEIRA PARTE

1. INTRODUÇÃO

A carne de cordeiro é caracterizada como uma fonte rica em vitaminas do complexo B, minerais, gordura e proteínas de alto valor biológico, responsáveis em fornecer aminoácidos essenciais para a manutenção da saúde do homem. Sendo assim a carne de cordeiro mostra-se como uma fonte de nutrientes importantes para a manutenção e síntese dos tecidos orgânicos e regulação de diversos processos fisiológicos no organismo humano.

Os benefícios que a carne de cordeiro pode trazer a saúde humana, associado ao melhor poder aquisitivo do consumidor nas últimas décadas, contribuiu significativamente para o aumento da demanda dessa carne. Porém, ao mesmo tempo que o consumidor passou a buscar mais por esse produto, o mesmo tornou-se mais exigente quanto a qualidade nutricional desse alimento.

Dentre os parâmetros de qualidade a quantidade de gordura presente na carne de cordeiro destaca-se por influenciar negativamente sua aceitabilidade no mercado. Essa gordura é caracterizada por conter grandes quantidades de ácidos graxos saturados, os quais estão associados a doenças cardiovasculares e desenvolvimento da obesidade em humanos. Dessa forma pesquisas em diferentes sistemas de manejo associadas a suplementação com fontes lipídicas buscam manipular de forma benéfica as características químico-físicas e o perfil de ácidos graxos na carne de cordeiro.

De forma geral estratégias que associam manejo e nutrição visam produzir carnes com melhor aceitabilidade sensorial e aumento principalmente de ácidos graxos poli-insaturados, os quais promovem o bem-estar e a saúde do homem.

Dentre as várias fontes de óleo vegetal para a alimentação de ruminantes o óleo de Macadâmia caracteriza-se por conter grandes proporções de ácido palmitoleico. Este está associado a melhorar a sensibilidade dos tecidos a insulina, reduzir a síntese de ácidos graxos e conseqüentemente reduzir as taxas de hipertrofia e hiperplasia nos adipócitos. Os mecanismos fisiológicos influenciados pelo palmitoleico estão diretamente ligados a indução ou inibição da expressão de genes específicos, os quais podem potencializar ou restringir a síntese e atividade de enzimas envolvidas no metabolismo energético.

A vitamina E suplementada e armazenada nos tecidos pode reduzir a peroxidação lipídica e melhorar a preservação dos ácidos graxos poli-insaturados na carne. Além disso, os

efeitos benéficos do palmitolico sobre o metabolismo supostamente podem melhorar a qualidade e o perfil de ácidos graxos da carne de cordeiro.

Considerando os aspectos abordados acima, esta pesquisa tem como hipótese que diferentes sistemas de manejo associados a suplementação com óleo de Macadâmia e vitamina E podem influenciar a qualidade, o perfil de ácidos graxos e a aceitabilidade sensorial da carne de cordeiro, sendo esses efeitos associados à alterações na expressão de genes do metabolismo lipídico.

Para comprovar tal hipótese o presente estudo teve como objetivo avaliar as características físico-químicas e sensoriais, o perfil de ácidos graxos e a oxidação lipídica da carne, associado à expressão de genes ligados ao metabolismo lipídico, de cordeiros manejados em dois sistemas de manejo (confinamento e pastagem) suplementados com óleo de Macadâmia e Vitamina E.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Ovinocultura no Brasil

A ovinocultura destaca-se entre as atividades pecuárias que mais crescem no Brasil. Segundo a FAO (2016) a produção de ovinos no Brasil apresentou entre os anos de 2006 a 2016 crescimento de 18,49% no número de cabeças produzidas e abatidas com aumento de 18,51% na produção de carne, de 77.000 toneladas produzidas no ano de 2006 para 91.258 toneladas no ano de 2016. Presentemente o Brasil possui um rebanho efetivo de 18.433.810 cabeças, sendo o 18º maior rebanho do mundo e o maior rebanho da América do Sul (FAO 2016). Dentre os motivos que favorecem o desenvolvimento da ovinocultura no Brasil destacam-se as características climáticas que favorecem a produção de forragens tanto na forma de pastagens como conservadas, as quais apresentam valores nutricionais desejáveis para utilização na alimentação de ruminantes (SBRISSIA et al., 2017). Essas condições climáticas também beneficiam a produção de grãos como milho e soja (CATTELAN et al., 2018; ECKERT et al., 2018) principais ingredientes utilizados na fração concentrada da dieta em vários sistemas de criação seja em confinamento ou suplementados para animais em pastagem.

A inclusão de raças especializadas para produção de carne nos sistemas de criação também contribuem para o crescimento da ovinocultura, contribuindo significativamente para melhor padronização dos produtos disponibilizados no mercado. As raças Doper e White Dorper de origem sul-africana (ARCO, 2018) atualmente são as mais utilizadas como base genética nos rebanhos comerciais de matrizes Santa Inês para produção de carne. O

crescimento expressivo na utilização de ambas as raças se deu pela fácil adaptabilidade ao clima Tropical e pelo fato de suas progênies apresentarem ganhos satisfatórios tornando o sistema mais rentável (GALLO et al., 2014; GALVANI et al., 2014) e contribuindo para o maior atendimento da demanda de carne cordeiro.

Segundo Morgan-Davies et al. (2018) a produção de cordeiros de qualidade para o é uma atividade com excelentes perspectivas. Silva et al. (2009) relatam que o consumidor brasileiro é receptivo ao consumo de outras carnes que sejam macias, de coloração rosada e com pouca gordura.

De acordo com a FAO (2013) o Brasil importou cerca de 8.857 toneladas de carne ovina do Uruguai caracterizando cerca de 70% do produto consumido nacionalmente, o qual apresenta baixa qualidade sensorial o que faz com que muitos consumidores deixem de consumir carne ovina devido a péssima experiência fazendo com que muitos consumidores deixem de consumir carne ovina devido a péssima experiência quando consumida (FIRETTI et al., 2017; SOUZA, 2008; VIANA; MORAES; DORNELES, 2015).

No entanto, apesar da elevada demanda o consumo *per capita* ainda é modesto e de acordo com dados de 2013 publicados pela Sociedade Nacional de Agricultura (SNA, 2015), o consumo *per capita* está entre 0,7 e 1,0 kg/ habitante/ ano, que é considerado muito baixo quando consideramos os mais de 200 milhões de habitantes. Firetti et al. (2017) relatam a grande incidência de abates clandestinos de ovinos o que pode colaborar para o baixo consumo, uma vez que carnes oriundas de abates clandestinos não são contabilizadas nas estatísticas de institutos e organizações.

Apesar dos relatos positivos sobre o crescimento da ovinocultura a cadeia produtiva ainda apresenta gargalos que dificultam o seu desenvolvimento. Entre eles destaca-se a ausência de foco por parte do criador no sistema de produção que interfere na padronização e qualidade dos animais abatidos e contribui para que a ovinocultura ainda não tenha ocupado seu papel de destaque (SOUZA 2015).

2.2. Sistemas de Manejo

Ovinos são caracterizados por serem consumidores de gramíneas com elevado potencial de converter carboidratos fibrosos em carne (NRC, 2007). Porém, segundo Bernardes et al., (2015) os sistemas de criação de cordeiros para produção de carne atualmente, caracterizam-se predominantemente por criar os cordeiros em confinamento com dietas ricas em alimentos concentrados, as quais permitem melhor desempenho animal. Sañudo et al.,

(2013) descreveram que os sistemas de manejo podem influenciar consideravelmente sobre a qualidade da carne principalmente sobre os atributos associados a maciez, suculência, aroma e sabor.

2.2.1. Pastagem

Pastagens são a base natural da alimentação de animais ruminantes, sendo a forma mais barata e menos trabalhosa de produzir alimento para animais em condições de campo (OLIVEIRA et al., 2018). Ovinos possuem elevada capacidade em aproveitar alimentos fibrosos e por esse motivo recomenda-se que sua alimentação seja constituída por alimentos ricos em fibra, resultando em dietas predominantemente a pasto limitando-se ao fornecimento de suplemento concentrada em situações especiais (FAVORETTO, 1990).

No entanto, a produção animal em pastagem pode ser limitada por elementos climáticos levando a flutuações na qualidade e disponibilidade de forragem durante períodos bem definidos ao longo do ano (CORDÃO et al., 2012). Outro ponto associado a baixa disponibilidade e qualidade da forrageira está associado ao manejo inadequado, sendo o principal obstáculo para produção de animais em pastagem (MIWA et al., 2017). Porém, a formação de pastagens cultivadas mostra-se mais eficiente em nivelar a capacidade de suporte durante todo o ano e maximizar a produção por área garantindo a longevidade do sistema (VAZ et al., 2014).

Quando almeja-se aumentar o desempenho de animais manejados em pastagem a utilização de suplementos alimentares permitem aumentar as taxas de ganho em épocas de escassez de forragem (DE BRITO et al., 2017), como também explorar de forma mais eficiente a área de pastagem permitindo o aumento da taxa de lotação proporcionando maior ganho por área (kg/ hectare) (BOHNERT; STEPHENSON, 2016). Além disso, a suplementação pode ter um impacto muito significativo na margem líquida, principalmente se for possível a utilização de subprodutos ou ingredientes alternativos (PEDROSO et al., 2011).

Do ponto de vista de qualidade a carne de cordeiros manejados em pastagem apresenta menor quantidade de gordura e melhor perfil de ácidos graxos, apresentam menores concentrações de ácidos graxos saturados e maior proporção de ácidos graxos mono e poli-insaturados especialmente o C18:3 n3, EPA e DHA que são benéficos a saúde humana (MARGETÍN et al., 2018; WANG et al., 2018). Além disso, a pastagem é uma excelente fonte de antioxidantes naturais, o que permite maior deposição de antioxidantes naturais na carne quando comparado a dietas baseadas em concentrado (FRUET et al., 2018).

2.2.2. Confinamento

A busca por competitividade de mercado e melhores índices de produtividade na ovinocultura contribuiu positivamente para que grande parte dos criatórios comerciais confinasse seus cordeiros após o desmame (FERNANDES et al., 2014). De acordo com Lima et al. (2017) a terminação de cordeiros em confinamento permite a exploração do potencial de ganhos satisfatórios e redução no ciclo de produção, mas pode tornar-se uma prática economicamente inviável devido ao alto custo com alimentação. Barros et al. (2009) relatam que esses custos podem representar até 70% do custo de produção devido os insumos que constituem a base concentrada da dieta.

Apesar de ser uma prática viável existe uma preocupação muito grande quanto o aumento nos depósitos de gordura na carne de cordeiros confinados. Dado que as dietas fornecidas no confinamento caracterizam-se pela elevada digestibilidade e disponibilidade de energia (WOOD et al., 2008).

Sobre a qualidade da carne Sañudo et al. (2013) relataram que o elevado teor de concentrado permite carnes mais macias e suculentas. Esses parâmetros de qualidade sensorial são diretamente ligados à maior aceitação da carne, sendo essas características desejáveis e conquistadas de forma mais fácil quando trabalha-se nesse sistema de manejo.

Porém, o perfil de ácidos graxos da carne caracteriza-se pela elevada proporção de ácidos graxos saturados principalmente os hipercolesterolêmicos (C12:0, C14:0 e C16:0) responsáveis por aumentar o risco de doenças cardiovasculares (LADEIRA et al., 2018). Nota-se também uma maior concentração de C18:2 n6 associado em reduzir as concentrações de colesterol e regular processos inflamatórios (CHIKWANHA et al., 2018).

2.3. Utilização e metabolismo de lipídeos em ruminantes

Os lipídeos cada vez mais são utilizados em dietas de animais ruminantes independentemente do sistema de manejo utilizado. O principal fator associado a ampla utilização dos lipídeos é que esses apresentam maior conteúdo energético quando comparado aos carboidratos e proteínas (ENJALBERT et al., 2017; NRC, 2007).

Do ponto de vista nutricional o NRC (2001) destaca que elevadas quantidades de lipídeos na dieta podem reduzir o consumo de matéria seca e consequentemente reduzir a quantidade de energia ingerida (BAUMAN et al., 2008; GIBB et al., 2005; SUN et al., 2009). A menor digestibilidade da fração fibrosa está associada a formação de um “filme” sobre a fibra dificultando a colonização microbiana e reduzindo o consumo de matéria seca (CARVALHO,

2015). Vários autores destacam que o consumo de matéria seca é extremamente definido pelo nível de inclusão de extrato etéreo na dieta (PALMQUIST et al., 2011). Nesse sentido, Enjalbert et al. (2017) relataram que a fração lipídica encontrada na maioria das dietas de ruminantes representa cerca de 5% da matéria seca e que os ácidos graxos C18:3 n3 e C18:2 n6 são predominantes nessas dietas. Zinn et al. (2007) recomendam que para otimizar a utilização de gordura suplementar na dieta sem comprometer o consumo de matéria seca a ingestão total de extrato etéreo não deve exceder 7% da matéria seca da dieta. Segundo Ladeira et al. (2011) a suplementação com fontes lipídicas podem repercutir em diferentes efeitos sobre a fermentação ruminal, o que é consequência da composição de ácidos graxos da fonte lipídica como também da quantidade fornecida ao animal.

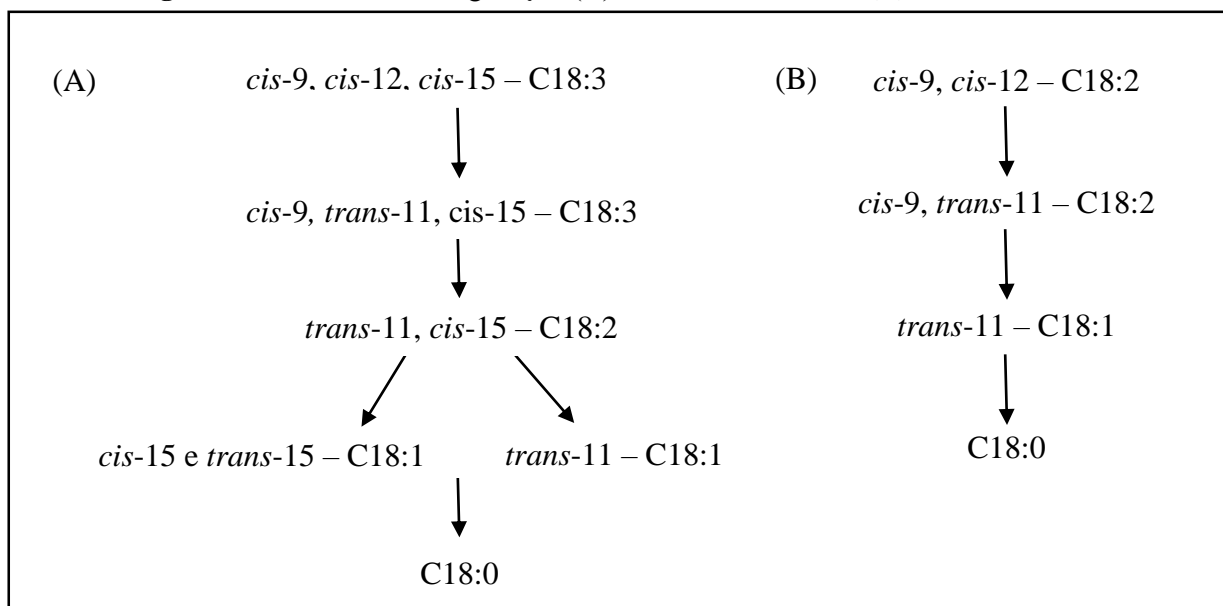
Antes que os ácidos graxos sejam absorvidos no intestino delgado a fração lipídica da dieta sofre grandes modificações no rúmen, as quais são caracterizadas basicamente pela hidrólise das ligações ésteres e a bio-hidrogenação (GRINARI et al., 1998; WERNER OMAZIC et al., 2015). Classes lipídicas como fósfolipídeos e galactolipídeos podem ser hidrolisados por bactérias *Butyrivibrio fibrisolvens* (HAZLEWOOD et al., 1979), enquanto os triglicerídeos são hidrolisados por diferentes espécies de *Butyrivibrio* (LATHAM et al., 1972; PAILLARD et al., 2007).

No entanto, a taxa de liberação dos lipídeos nos alimentos é dependente do tipo de processamento que o alimento sofreu antes de ser fornecido ao animal. Ingredientes mais processados contribuem para maior liberação da fração lipídica e contribuem para maior extensão da hidrólise no rúmen (FIORENTINI et al., 2015).

Já o processo de bio-hidrogenação visa reduzir os efeitos tóxicos dos ácidos graxos insaturados sobre os microrganismos ruminais (FONTELES et al., 2016). A bio-hidrogenação nada mais é do que a remoção de insaturações presentes nos ácidos graxos tornando-os saturados ou monoinsaturados com conformação *trans* pelo processo de isomerização diminuindo o efeito de toxicidade sobre os microrganismos ruminais (ENJALBERT et al., 2017).

A bio-hidrogenação de um ácido graxo como por exemplo o ácido linoleico pode ser completa e/ou incompleta (Figura 1). Quando completa tem como produto final o ácido esteárico (C18:0), mas caso esse processo seja incompleto os ácidos graxos resultantes são C18:1 *trans*-11 e/ou CLA (C18:2 *cis*-9, *trans*-11), sendo o CLA alvo de muitos estudos aos efeitos benéficos a saúde humana entre eles a prevenção do câncer, redução da aterosclerose e melhoria da resposta imune (COSTA et al., 2017).

Figura 1. Vias de bio-hidrogenação (A) ácido α -linolênico e (B) ácido linoleico.



Fonte: Adaptado de (ENJALBERT et al., 2017).

Porém, o processo de bio-hidrogenação pode ser considerado incompleto por ser mais lento que a hidrólise (SOUZA, 2014) e dessa forma contribui para que grande parte dos ácidos graxos insaturados não sejam bio-hidrogenados e posteriormente venham constituir o produto final (WOOD et al., 2008).

A natureza dietética dos ácidos graxos associado a composição da dieta são capazes de determinar a composição dos intermediários da bio-hidrogenação. Dietas contendo grandes proporções de concentrado associadas a fontes lipídicas ricas em ácidos graxos poli-insaturados podem levar a um desvio da rota normal da bio-hidrogenação devido a redução do pH ruminal que afeta diretamente a sobrevivência de alguns microrganismos ruminais (FIORENTINI et al., 2015). Em pH normal em torno de 5,9 a bio-hidrogenação tem como principal intermediário o C18:1 *trans*-11 e em baixo pH ocorre a formação do C18:1 *trans*-10. Esse último já foi demonstrado em diversos estudos como principal fator em reduzir a quantidade de gordura de marmoreio na carne por reduzir a expressão de genes envolvidos na lipogênese (LADEIRA et al., 2018; MESSANA et al., 2016; WOOD et al., 2008).

Pensando na qualidade da carne e mais especificamente no perfil de ácidos graxos Oliveira et al. (2014) destacam que alguns ácidos graxos modulam de forma negativa ou positiva a expressão de genes associados ao metabolismo lipídico, os quais influenciam a qualidade da carne. Os mesmos autores relataram que a evidencia da influência dos ácidos graxos sobre a qualidade da carne tem contribuído para o aumento no número de pesquisas com fontes lipídicas na alimentação de ruminantes. Associado a isso, Dalrymple et al. (2017)

destacaram que mais pesquisas são necessárias para elucidar os efeitos nutrigenômicos gerados pelos ácidos graxos sobre a lipogênese e lipólise em animais ruminantes sobre a qualidade da carne.

As diferentes vias do metabolismo lipídico associado a qualidade da carne e principalmente o perfil de ácidos graxos são fatores cruciais capazes de modular propriedades dietéticas, sensoriais e tecnológicas da carne. Dessa forma, carnes de melhor qualidade e com perfil de ácidos graxos adequado a saúde humana podem refletir em maior aceitabilidade da carne de cordeiro, contribuindo para a desmistificação do *marketing* negativo sobre essa carne, a qual é caracterizada muitas vezes pelo sabor intenso que está associado a presença de ácidos graxos indesejáveis na carne (ALVARENGA et al., 2015; MUELA et al., 2016; SAÑUDO et al., 2013; MUELA et al., 2013).

2.4. Óleo de Macadâmia

O óleo de Macadâmia é extraído da noz produzida pela noqueira Macadâmia, a qual pertencente ao gênero *Proteaceae*. A produção mundial de Macadâmia spp. é de aproximadamente 44.000 toneladas de nozes, sendo os maiores produtores a Austrália, África do Sul, Quênia, Estados Unidos e Malawi, os quais representam 86% de toda a produção mundial (NAVARRO et al., 2016).

São relatadas nove espécies de Macadâmia existentes no mundo. Porém apenas as espécies *M. integrifolia* e *M. tetraphylla* e seus híbridos são comercialmente importantes e recomendadas para o consumo. As demais espécies são pouco importantes devido a presença de compostos tóxicos de cianogênio tornando-as impróprias para o consumo (MOREAU et al., 2009).

O conteúdo lipídico do óleo de Macadâmia caracteriza-se por conter alta concentração de ácidos graxos oleico e palmitoleico e baixos níveis de ácidos graxos saturados e poli-insaturados (PETTY et al., 2002). Na tabela 1 é apresentado o perfil de ácidos graxos dos óleos obtidos das espécies *M. integrifolia* e *M. tetraphylla*, determinados por diferentes autores.

Tabela 1. Composição de ácidos graxos de óleo de Macadâmia.

Ácido graxo	<i>M. integrifolia</i> ^a	<i>M. integrifolia</i> ^b	<i>M. tetraphylla</i> ^c	<i>M. tetraphylla</i> ^d
C14:0	0,90 ± 0,01	0,90 ± 0,09	0,96-1,84	0,6
C16:0	8,88 ± 0,03	8,13 ± 1,00	8,41-11,13	8,00-9,00
C16:1	18,7 ± 0,1	17,7 ± 0,9	16,86-33,75	21,00-22,00
C18:0	4,26 ± 0,07	3,4 ± 1,0	1,49-3,19	2,00-4,00
C18:1	58,51 ± 0,01	59,4 ± 1,0	40,55-59,01	56,00-59,00
C18:2	1,81 ± 0,02	2,4 ± 1,1	2,63-4,47	2,00-3,00
C18:3	2,58 ± 0,00	0,13 ± 0,01	0,17-0,20	nd
C20:0	2,95 ± 0,06	2,7 ± 0,0	1,23-2,06	2,00-3,00
C20:1	nd	1,85 ± 0,03	1,36-2,63	1,5-3
C22:0	0,79 ± 0,02	0,72 ± 0,08	0,39-0,61	0,8
C24:0	nd	nd	0,11-0,19	0,5

^{a, b}Valores são apresentados como média ± desvio padrão em % do total de óleo extraído.

^aDados de Venkatachalan et al. (2006)

^bDados de Phatanayindee et al. (2012)

^cDados de Kaijser et al. (2000), intervalo de valores em % do teor total de lipídios.

^dDados de Firestone (1999), intervalo de valores em % do teor total de lipídios.

FONTE: Adaptado de NAVARRO et al. (2016).

Por conter baixo teor de ácidos graxos poli-insaturados, o óleo de Macadâmia é considerado altamente estável quanto a oxidação lipídica durante o armazenamento uma vez que ácidos graxos poli-insaturados são caracterizados por serem mais suscetíveis à degradação oxidativa (MOODLEY et al., 2007).

Porém, associado a baixa concentração de ácidos graxos poli-insaturados o óleo de Macadâmia também contém compostos bioativos que estão associados a melhor estabilidade lipídica (NAVARRO et al., 2016). Maguire et al. (2004) demonstraram que o óleo de Macadâmia contém baixas concentrações de tocoferóis, tocotrienóis e carotenóides. No entanto, outros compostos bioativos foram relatados na amêndoa e no óleo de Macadâmia, sendo os fitoesteróis aqueles encontrados em maior quantidade. Kaijser et al. (2000) encontraram conteúdos de fitoesterol na faixa de 1117 e 1549 mg/g de óleo que estão próximos dos valores relatados por Marangoni e Poli (2010) para o azeite de oliva, 1500 mg/g.

O método de extração do óleo de Macadâmia consiste em alguns passos, sendo o primeiro a remoção da casca externa da noz obtendo-se apenas as nozes com a casca interna. De acordo com Navarro et al. (2016) a casca da noz pode conter aproximadamente 25% do teor de umidade com base na matéria seca, portanto, é necessário a secagem prévia desse material, reduzindo a umidade para 10%. Após a redução no teor de umidade o material passa por um segundo método de secagem que é realizado utilizando secadores de convecção forçada reduzindo o teor de umidade para cerca de 3,5% da matéria seca.

Após secos os grãos devem ser separados da casca interna obtendo-se as amêndoas. As amêndoas livres de fragmentos de casca e não contendo defeitos de cor e forma são utilizadas na indústria alimentícia. Enquanto que as amêndoas quebradas durante o processamento ou que apresentem defeitos de tamanho, forma ou cor são utilizadas como matéria prima para extração do óleo (ACHEAMPONG-BOATENG et al., 2008). Tradicionalmente, a extração do óleo de Macadâmia é realizada por compressão a frio operação que consiste em aplicar pressão sobre o material oleaginoso mantendo a temperatura inferior a 30 ° C evitando a perda do sabor (MOREAU et al., 2009). O óleo obtido é caracterizado por ser amarelo dourado com sabor amanteigado e aroma característico de amêndoas frescas. Posteriormente, o óleo é engarrafado e comercializado como sendo um óleo extra virgem, o qual pode ser utilizado na fabricação de cosméticos e também é frequentemente utilizado na indústria farmacêutica na composição de medicamentos redutores dos níveis de colesterol devido os níveis satisfatórios de ácidos graxos benéficos a saúde como o palmitoleico (PIMENTEL, 2007).

Apesar de ser uma cultura pouco expressiva no Brasil, várias pesquisas já comprovaram os benefícios do óleo de Macadâmia sobre a saúde humana e metabolismo energético (SOUZA et al., 2018). Porém, não há relatos de trabalhos de que avaliaram o óleo de Macadâmia como fonte suplementar de ácido palmitoleico na alimentação de ruminantes, até o momento os relato do uso desse óleo em modelos animais como fonte palmitoleico restringe-se apenas a ratos e humanos.

2.5. Ácido palmitoleico

O ácido palmitoleico é por 16 carbonos e possui uma ligação dupla com configuração *cis* no carbono 9. Por possuir tal conformação é considerado um ácido graxo monoinsaturado pertencente à família ômega-7 e possui como nome sistemático ácido *cis*-9 hexadecenóico, porém é popularmente conhecido por ácido palmitoleico ou simplesmente pela sua nomenclatura taquigráfica C16:1 n7 (SOUZA et al., 2017).

Em comum a outros ácidos graxos o palmitoleico circula na corrente sanguínea como componente de lipídeos complexos compondo triglicerídeos, fosfolipídios e lipoproteínas. No entanto, também pode ser encontrado nas membranas celulares ou estar na sua forma livre na corrente sanguínea (WALKER et al., 2015).

O palmitoleico pode ser obtido diretamente da dieta, entretanto poucas fontes possuem concentrações elevadas desse ácido graxo. Morse (2015) destacou como boas fontes de

palmitoleico a Macadâmia com 17% de palmitoleico e o Espinheiro do Mar (*Hippophae rhamnoides*) com 29% de palmitoleico.

No entanto, o ácido palmitoleico também pode ser sintetizado pelo organismo, sua síntese ocorre partir da dessaturação do ácido palmítico (C16:0) numa reação catalisada pela enzima esteroil-CoA dessaturase 1 (SCD-1) (DOBRZYN et al., 2005). Souza et al. (2018) destacaram que o fígado e o tecido são os principais locais de atividade da SCD-1 para a síntese de ácido palmitoleico no organismo. Entretanto, a produção de palmitoleico é altamente influenciada pelos componentes nutricionais dos alimentos ingeridos, dietas ricas em palmitoleico ou outros ácidos graxos insaturados influenciam negativamente a atividade da SCD-1 (CAO et al., 2008; YANG et al., 2011), enquanto dietas com elevado teor de ácidos graxos saturados ou que promovam maior taxa glicêmica são indutoras da atividade da SCD-1 proporcionando maior produção desse ácido graxo (BRENNER et al., 2003; LÊ et al., 2008).

Bjeremo et al. (2010) demonstraram que o efeito inibitório do palmitoleico sobre a atividade da enzima SCD-1 em ratos é dependente do tecido. Esses autores demonstraram menor efeito inibitório da SCD-1 sobre o tecido adiposo e maior efeito sobre o fígado onde a importância biológica dessa enzima é fundamental. De acordo com Macdonald et al. (2008) a ingestão de palmitoleico pode modular a atividade da SCD-1 no tecido adiposo visando melhorias metabólicas. Diante disso, o ácido palmitoleico foi nomeado como uma lipocina a qual é capaz de regular o metabolismo energético e coordenar o metabolismo sistêmico (CAO et al., 2008).

Cao et al. (2008), descreveram que o ácido palmitoleico quando produzido e liberado pelos adipócitos é capaz de modular vários processos metabólicos em outros tecidos. Alguns autores sugerem que o palmitoleico atue como um hormônio sensibilizador da insulina melhorando o metabolismo da glicose (SOUZA et al., 2018; LONG et al., 2014; MORSE, 2015). Passos et al. (2016) relataram que o aumento de ácidos graxos livres no sangue comum em indivíduos obesos contribuem para o desenvolvimento de doenças metabólicas, as quais afetam principalmente o fígado, mas também o pâncreas reduzindo a produção de insulina e contribuindo para o desenvolvimento de diabetes tipo 2 (QUEIROZ et al., 2009).

Ichimura et al. (2012) observaram que altos níveis de palmitoleico na forma não esterificada no plasma de ratos não confere resistência à insulina quando alimentados com elevada concentração de gordura. Os mesmos autores sugerem que esses resultados estejam associados a maior fosforilação de várias proteínas ligadas a via de sinalização da insulina,

como por exemplo os receptores de insulina, substrato de receptor de insulina, e também a proteína quinase B.

Long et al. (2014) em experimento com ovinos observaram que a infusão de ácido palmitoleico aumenta os níveis circulantes de glicose em condições normais e sob desafio de glicose, enquanto que os níveis circulantes de insulina aumentaram com a infusão de ácido palmitoleico durante o desafio da insulina. Os mesmos autores ainda relataram que as possíveis mudanças encontradas nos níveis de glicose plasmática, podem estar associados ao efeito negativo do ácido palmitoleico sobre os transportadores de glicose. Porém, a Dimopoulos et al. (2006) descreveram que o aumento nos níveis de glicose absorvida pelos tecidos quando associado ao palmitoleico se deve ao maior recrutamento de transportadores de glicose (GLUT1 e GLUT4). No entanto, essa abordagem ainda é questionada por alguns autores, os quais afirmam que o palmitoleico não é capaz de gerar alterações sobre esses transportadores de forma específica (CAO et al., 2008).

Maedker et al. (2003) demonstraram que a suplementação com palmitoleico além de correlacionar a maior sensibilidade a insulina também é capaz de modular a secreção de insulina pelas células- β no pâncreas, ou seja, o palmitoleico parece melhorar a função secretora das células- β , a qual em condições normais é prejudicada pelo excesso de ácido palmítico contribuindo para o aumentando da glicose circulante.

No caso de ovinos a idade do animal pode influenciar diretamente a resistência à insulina. Long et al. (2014) associam o maior conteúdo de glicose circulante em carneiros adultos (18 meses) suplementados com palmitoleico a elevada quantidade de tecido adiposo já depositado. Entretanto, Long et al. (2010) relataram que ruminantes fisiologicamente mais jovens que não apresentem quantidades excessivas de tecido adiposo possuem uma redução de 50% na glicemia em comparação aos valores basais em um desafio de glicose. Em outro trabalho Long et al. (2012) observaram que ovinos com 5% de gordura corporal já apresentavam resistência à insulina e que o aumento de até 20% na gordura corporal é seguido pela maior resistência à insulina. No entanto, Souza et al. (2018) destacam que o mecanismo pelo qual o palmitoleico influencia a resposta e/ou secreção de insulina ainda não são totalmente compreendidos e que são necessários mais estudos *in vivo* para compreender os efeitos reais do ácido palmitoleico sobre o metabolismo da glicose.

Além de estar associado a sensibilidade a insulina nos tecidos o palmitoleico também pode reduzir a lipogênese devido a ação moduladora sobre fatores de transcrição PPAR- α (WANG et al., 2006) acarretando em menor expressão de genes associados a síntese de novo

como a enzima acetil-CoA carboxilase (ACC), ácido graxo sintase (FAS), SCD1 e elongases (ELOVL5 e ELOVL6) (BURNS et al., 2012).

Burns et al. (2012) descreveram que a suplementação exógena de palmitoleico em adipócitos bovinos cultivados *in vitro* foi capaz de reduzir a resposta celular a síntese de novo e aumentar a resposta a oxidação dos ácidos graxos para produção de energia justificando a redução no armazenamento de gordura nos adipócitos.

Duckett et al. (2014) suplementando ovinos com palmitoleico observaram redução na proporção de gordura subcutânea e redução no tamanho dos adipócitos intramusculares resultando em menor conteúdo lipídico total no tecido muscular. Associado a isso, Souza et al. (2018) descreveram que camundongos suplementados com óleo de Macadâmia e dietas ricas em gordura apresentam redução na hipertrofia dos adipócitos reduzindo a quantidade de gordura corporal.

Além da inibição sobre a lipogênese alguns autores sugerem que o palmitoleico parece mudar o metabolismo do armazenamento de energia e a forma como utilizar a energia disponível. Dessa forma, o palmitoleico parece ser um possível ativador do AMPc um segundo mensageiro celular que possui atividade fundamental em determinar o combustível usado para energia nas células, ou seja, o AMPc desempenha papel sobre a regulação da utilização de glicose e o uso de ácidos graxos pelo tecido (HOFFMAN et al., 2014). Duckett et al. (2014) trabalhando com ovinos observaram que a suplementação de palmitoleico aumenta a expressão do gene AMPc no fígado, tecido muscular e adiposo subcutâneo, o que parece potencializar o aproveitamento da energia ingerida reduzindo a ingestão de alimento (YANG et al., 2013).

2.6. Vitamina E

A vitamina E é um antioxidante lipossolúvel encontrado nas membranas celulares e no interior de células adiposas e musculares. No metabolismo tem a função proteger as células contra os efeitos dos radicais livres subprodutos potencialmente nocivos e que podem contribuir para o desenvolvimento de doenças crônicas como câncer e doenças cardiovasculares (LIU et al., 1996).

Componente dos óleos vegetais e das forragens frescas a vitamina E pode ser encontrada em quatro formas na natureza α , β , γ e δ -tocoferol. A forma α -tocoferol possui maior atividade biológica, sendo o antioxidante lipossolúvel mais abundante nos tecidos e no plasma (BIANCHI & ANTUNES, 1999).

De acordo com McDowell et al. (1996) o NRC recomenda para ruminantes de forma geral requerimentos entre 15 a 40 mg/kg de matéria seca de vitamina E e que níveis acima do recomendado principalmente para animais em crescimento pode melhorar o desempenho animal e as características da carne.

Faustan et al. (1996) destacaram que animais manejados em pastagem apresentam maior concentração de α -tocoferol frente a animais manejados em confinamento. Dessa forma, a dieta pode ser considerada como fator que mais influência sobre a concentração de α -tocoferol encontrada no músculo. Turner et al. (2002) observaram que cordeiros manejados em pastagem ou alimentados com alimentos concentrados e suplementados com 3 níveis de vitamina E (15, 150 e 300 UI) apresentaram diferentes concentrações de α -tocoferol 0,57; 3,22 e 4,19 mg/kg de músculo, enquanto os cordeiros manejados em pastagem e sem suplementação tiveram uma média de 2,32 mg/kg de músculo de α -tocoferol.

Associada a qualidade da carne a vitamina E pode evitar a oxidação lipídica da carne contribuindo para maior vida de prateleira durante o período de varejo. Ripoll et al. (2013) destacaram que o nível ótimo de α -tocoferol para atrasar a deterioração da carne de cordeiro estaria na faixa de 5,3 a 5,6 mg α -tocoferol/kg de músculo, o que corresponde a inclusão de 550 a 625 mg de α -tocoferol/kg de dieta. Já quanto a estabilidade da cor da carne Cannon et al. (1995) e Faustman et al. (1996) referemrelatam que é necessário no mínimo 3,0 a 3,7 μ g/g de α -tocoferol no músculo para manter a estabilidade oxidativa do grupo ferro-heme presente na mioglobina (LIU et al., 1989). Chauhan et al. (2016) observaram que a carne de cordeiros não suplementados com vitamina E devem chegar a máxima exposição de varejo com 60 horas apresentando cor superficial satisfatória.

Além de melhorar a qualidade da carne a vitamina E é associada como uma molécula de sinalização celular que pode afeta receptores celulares, fatores de transcrição, níveis de expressão gênica e conseqüentemente os níveis de proteínas e atividades enzimáticas (RIMBACH et al., 2010). Os mesmos autores descrevem que a vitamina E pode exercer influência sobre a expressão de genes ligados ao metabolismo lipídico principalmente os fatores de transcrição SREBP1. González-Calvo et al. (2015) relataram que a suplementação de vitamina E em cordeiros manejados em pastagem pode influenciar a expressão de genes relacionados ao metabolismo lipídico especialmente para os genes ELOVL6 e SCD.

2.7. Expressão de genes associados ao metabolismo lipídico

2.7.1. Fatos de transcrição de proteínas ligantes aos esteroides (SREBP)

Fatores de transcrição de proteínas ligantes aos esteroides (SREBP) desempenham papel central na homeostase energética provendo a lipogênese e adipogênese (GOLDSTEIN et al., 2006; RICOULT et al., 2016). SREBP's são uma família de fatores de transcrição que podem apresentar-se em três isoformas: SREBP-1a, SREBP-1c e SREBP-2. Dentre as três isoformas a SREBP-1c representa 90% da fração SREBP-1, o qual é relatado como um fator de transcrição determinante sobre o processo transcricional de enzimas envolvidas na lipogênese (BIONAZ et al., 2012). Por outro lado o SREBP-2 está associado a síntese de colesterol e o SREBP-1a está envolvido tanto na síntese de colesterol como na lipogênese (HORTON et al., 2002).

Após ser formado o SREBP-1c fica retido no retículo endoplasmático e sua ativação ocorre em resposta a baixa concentração de hormônio esteroides e a elevada concentração de insulina desencadeada pelo consumo de energia (COLGAN et al., 2007; SAKAI et al., 1996; WANG et al., 1994). Quando ativado o SREBP-1c se liga a segmentos específicos do DNA, os quais chamamos de elementos regulatórios de esterol e ativam o processo transcricional de genes envolvidos no controle do metabolismo lipídico e glicídico (KIM et al., 1995).

O SREBP-1c por ser a forma mais expressa no organismo em resposta as mudanças dietéticas sobre metabolismo lipídico tem despertado grande interesse para melhorar da qualidade da carne. Oliveira et al. (2014) descreveram que a expressão do fator de transcrição SREBP-1c possui alta correlação com expressão do genes associados a lipogênese como a acetil-CoA carboxilase (ACC), esteroil-CoA dessaturase (SCD-1) e ácido graxo sintase (FAS) em ensaios *in vivo* com bovinos.

Ricoult et al. (2016) descreveram que o maior estímulo para formação do fator de transcrição SREBP-1c está associado diretamente a concentração de insulina na corrente sanguínea, os mesmos também relatam que dietas contendo grandes proporções de carboidrato não fibroso são potentes em aumentar os níveis de insulina no plasma e conseqüentemente aumentar o índice de expressão do SREBP-1c e a lipogênese.

Porém, a suplementação com fontes lipídicas, mas principalmente aquelas contendo grandes proporções de ácidos graxos poli-insaturados podem modular negativamente a transcrição do SREBP-1c levando a redução do estímulo para a expressão do genes relacionados a lipogênese o que levaria a menor deposição de gordura na carne (BOTOLIN et al., 2006; LADEIRA et al., 2018). Waters et al. (2009) observaram que animais ruminantes

particularmente parecem ter um efeito mais pronunciado sobre as taxas de RNAm associado ao SREBP-1c isso se deve a influência dos diferentes produtos da bio-hidrogenação, mas principalmente o t10-C18:1 e os t10c12-C18:2.

2.7.2. Receptor ativado por receptores de peroxissoma (PPAR- α)

O termo PPAR corresponde a uma família de receptores nucleares influenciados por ácidos graxos. Essa família de fatores de transcrição possui funções importantes sobre a regulação do metabolismo de nutrientes e a homeostase energética.

A família de fatores de transcrição PPAR's diferem em três isoformas: PPAR- γ , PPAR- α e PPAR- δ/β . PPAR- γ , tem elevada expressão no músculo, sendo crucial no controle da adipogênese e sensibilidade a insulina. O PPAR- δ/β é expresso em todos os tecidos. Enquanto o PPAR- α possui elevada expressão no fígado e no tecido adiposo e está envolvido no processo de lipólise (ISSEMANN et al. 1990).

A ativação do PPAR- α se inicia em resposta a necessidade de energia por uma célula ou organismo resultando no catabolismo de gordura. Nos hepatócitos esses fatores de transcrição ativam genes necessários para síntese de enzimas envolvidas na mobilização, captação e β -oxidação dos ácidos graxos para formação de energia (MORAES, 2018).

Outro fator associado a ativação do PPAR- α é que esse possui alta afinidade em se ligar a ácidos graxos livres. Vários trabalhos relataram que ácidos graxos até 18 carbonos tem maior influência sobre a ativação dos PPAR- α . Entretanto ácidos graxos com mais de 20 carbonos são considerados ligantes fracos e não são capazes em estimular a atividade dos fatores de transcrição PPAR- α (CHAKRAVARTHY et al., 2009; LIU et al., 2013).

Duckett et al. (2014) relataram que a suplementação de ovinos com ácido palmitoleico diminui a expressão do fator de transcrição SREBP-1c e aumentou o PPAR- α resultando em redução da lipogênese e da lipólise. Burns et al. (2012) observaram que a suplementação de adipócitos bovinos *in vitro* com ácido palmitoleico induziu a menor taxa de hiperplasia e hipertrofia dos adipócitos, o que foi associado a maior expressão do gene para a enzima cartinina palmitoil transferase 1 (CPT1A) localizada na membrana da mitocôndria responsável por captar ácidos graxos livres para que sejam oxidados no interior da mitocôndria.

2.7.3. Esteroil-CoA dessaturase (SCD-1)

A partir do momento que ácidos graxos livres encontram-se retidos nos adipócitos esses são passíveis de modificações por uma série de processos metabólicos, dentre eles a

conversão de ácidos graxos saturados em ácidos graxos monoinsaturados por ação das dessaturases. Wongwathanarat et al. (1999) destacaram a importância da atividade da SCD na manutenção da fluidez da membrana plasmática e também sobre o metabolismo lipídico e adipogênese (KIM et al. 2002).

A SCD é encontrada na membrana do retículo endoplasmático (GRAUGNARD et al., 2010) e pode possuir mais de uma isoforma em mamíferos: SCD-1, SCD-2, SCD-3, SCD-4 e SCD-5 (CASTRO et al., 2011). Lengi et al. (2007) destacaram que as isoformas SCD1 e SCD5 são amplamente encontradas em animais ruminantes, mas que a isoforma SCD-1 é a mais predominante e é altamente expressa nos adipócitos.

Bessa et al. (2015) descrevem a atividade da SCD-1 ou Δ^9 dessaturase nos adipócitos a partir da dessaturação de ácidos graxos saturados na posição do carbono 9 e também de ácidos graxos *trans* originados na bio-hidrogenação os ácidos graxos C14:0, C16:0, C18:0, t-11C18:1, C17:0 e t7-C18:1 são os principais ácidos graxos dessaturados em ruminantes quando encontrados no adipócito. Já os principais produtos da SCD-1 são c9t11-C18:2 e em maiores quantidades o c9-C18:1 (BESSA et al., 2015; MANNEN, 2012; SHINGFIELD et al., 2013).

Kim et al. (2002) relataram que a expressão do gene SCD-1 é altamente regulada por fatores dietéticos. Waters et al. (2009) mostraram que dietas com grandes proporções de ácidos graxos poli-insaturados regulam negativamente a expressão gênica da SCD-1 reduzindo significativamente os teores de c9t11-C18:1 e c9-C18:1 na carne. No entanto Estany et al. (2014) demonstraram que dietas ricas em carboidratos não fibrosos (CNF) são capazes de regular positivamente a expressão da SCD1. Alguns autores também destacam que altos níveis de insulina circulantes no sangue são capazes de exercer efeitos positivos sobre a expressão de SCD1 (SOUZA et al., 2018).

Alguns estudos sugerem que a maior expressão e atividade da SCD1 está associada a regulação por fatores de transcrição como SREBP-1c (RENAVILLE et al., 2006; SAMPATH et al., 2006). De acordo com Sampath et al. (2006), mudanças na expressão do fator SREBP-1c podem alterar a síntese de SCD-1 e causar diferenças na composição de ácidos graxos no tecido animal. Ladeira et al. (2016) observaram correlação positiva entre os níveis de SREBP-1c e SCD-1. Entretanto, Oliveira et al. (2014) não encontraram correlação significativa para SREBP-1c e SCD-1 quando suplementaram novilhos com fonte de ácido linoleico, porém observaram correlação positiva entre o fator PPAR- α e SCD-1.

A razão pela qual pode ocorrer alterações específicas sobre a expressão das enzimas sobre os diferentes depósitos (intramuscular e subcutâneo) não são muito claras pela literatura. No entanto, essas diferenças podem estar relacionadas pelo menos em parte as variações do nível de fatores de transcrição que regulam a expressão da SCD-1. Alguns autores relataram que a gordura intramuscular possui amadurecimento mais tardio em relação a gordura subcutânea e que possivelmente há significativas diferenças morfológicas e metabólicas que podem definir a resposta desse gene sobre a qualidade da carne e o perfil de ácidos graxos (LADEIRA et al., 2018; MIAO et al., 2016; WARD et al., 2010; ZHANG et al., 2014).

2.7.4. Elongases (ELOVL-5 e ELOVL-6)

O processo de elongação dos ácidos graxos é bem conhecido e ocorre predominantemente no retículo endoplasmático onde uma quantidade significativa de ácidos graxos sintetizados ou da dieta são elongados em ácidos graxos de cadeia longa contendo de 18 ou mais átomos de carbono por um processo de quatro etapas: condensação, redução, desidratação e redução (GUILLOU et al., 2010; SASSA 2014).

A primeira etapa da elongação (condensação) é considerada limitante para o processo e é realizada por famílias de enzimas elongases composta por sete membros ELOVL1 a ELOVL7. Essas enzimas são altamente específicas quanto ao substrato, o tamanho da cadeia e número de insaturações presentes no ácido graxo (JAKOBSSON et al., 2006). No entanto, as enzimas ELOVL5 e ELOVL6 são as principais responsáveis pelo processo de elongação de ácidos graxos em ruminantes (ZHU et al., 2016).

A ELOVL5 está envolvida na elongação de vários ácidos graxos poli-insaturados contendo 18 e 20 carbonos (principalmente o α -linolênico e linoleico). Enquanto a ELOVL6 é responsável por catalisar a elongação do ácido do palmítico (C16:0) para ácido esteárico (C18:0) e a elongação do palmitoleico (C16:1 n7) para ácido oleico (C18:1 n7) (GREEN et al., 2010). Segundo Sassa (2014) a formação de ácidos graxos de cadeia muito longa como eicosapentaenóico (EPA) C20:5 n3, docosapentaenóico (DPA) C22:5 n3 e docosaexaenóico (DHA) C22:6 n3 está diretamente associada a maior atividade das elongases e também das dessaturases, sendo esses ácidos graxos benéficos a saúde humana (HERRERA-CAMACHO, J.; SOBERANO-MARTINEZ, 2011; SCOLLAN et al., 2017; WOOD et al., 2008).

Duckett et al. (2014), demonstraram que a suplementação lipídica rica em ácidos graxos monoinsaturados para ovinos regulou de forma positiva a expressão da ELOVL6 tanto no tecido adiposo como no tecido intramuscular, porém não encontraram resultados de

alteração na expressão e atividade da ELOVL5 sugerindo que a ELOVL6 parece ser mais sensível aos efeitos associados a dieta (DE SOUZA et al., 2018; LEROUX et al., 2016).

2.8. Qualidade da carne

A qualidade da carne deve ser definida por características que o consumidor considere importante para melhor aceitabilidade do produto. Dentre as características que influenciam a aceitabilidade do consumidor as sensoriais são as mais importantes, pois conferem credibilidade ao produto e segurança a saúde daqueles que venham consumir (WATKINS et al., 2013).

Sañudo et al. (2013) descrevem que as características visuais da carne de cordeiro podem ser avaliadas a partir de parâmetros como a cor da carne, cor da gordura, textura da carne, quantidade e distribuição de gordura no corte, bem como a ausência do excesso de água na embalagem de varejo. Além disso, demonstraram que as características da carne após cozida, podem ser apreciadas a partir de critérios sensoriais como a cor, textura, suculência, sabor e odor.

Osório et al. (2014) relataram que os consumidores de carne ovina geralmente colocam como fator de ponderação sobre a qualidade da carne o sabor, a textura e por último a suculência, enquanto em bovinos o maior fator de ponderação é a textura. Firetti et al. (2017) destaca que o mercado consumidor atual é exigente e se caracteriza pela busca de carnes macias com pouca gordura e muito músculo e que também sejam comercializadas a preços acessíveis.

De acordo com Sañudo et al. (2013) os fatores que podem influenciar a qualidade da carne de cordeiro podem ser divididos em intrínsecos (raça, sexo, castração e idade de abate) e extrínsecos (sistema de produção, dieta, instalações etc.). Entretanto os fatores pré e pós-abate (transporte, jejum, atordoamento, resfriamento das carcaças etc.) e a forma de preparo (temperatura de preparo, temperos e formas de preparo) também podem influenciar a qualidade e a aceitabilidade de carne.

2.8.1. Parâmetros físico-químicos e sensoriais

2.8.1.1. pH

O pH é considerado de grande influência na qualidade e segurança dos alimentos capaz de indicar o grau de deterioração ou maturação. Em carnes o pH está relacionado ao acúmulo de ácido lático oriundo das mudanças *post mortem*. Oliveira et al. (2009) descreveram que a quantidade e a taxa de acúmulo de ácido lático na carne após o abate têm influência importante

sobre a qualidade final e que variações expressivas na concentração de ácido lático podem afetar atributos como a cor, a aparência, o sabor, o aroma e a textura.

Sañudo et al. (2013) relataram que carnes com pH final mais baixos estão associadas a melhores características de qualidade considerando tanto aspectos visuais como sensoriais. Já Ponnampalam et al. (2017) descreveram que elevados valores de pH final na carne podem ser encontrados quando cordeiros são terminados em pastagem resultando em características indesejáveis como carnes com cor mais escura.

2.8.1.2. Capacidade de retenção de água (CRA)

A habilidade da carne em reter água na presença de forças externas (corte, moagem e aquecimento) é conhecida com capacidade de retenção de água (CRA) e define o potencial da perda de peso após o abate (PEARCE et al., 2011).

A água presente na carne corresponde a aproximadamente 75% de seu peso total. Dessa forma a CRA é um parâmetro de qualidade tecnológica para a indústria de carnes, o qual reflete diretamente sobre a rentabilidade econômica. Osório et al. (2014) consideram a CRA como um parâmetro biológico, físico e químico, o qual no momento da mastigação se traduz em sensação de maior ou menor suculência.

Em condições normais a água livre é a fração perdida durante o processo de *post mortem*. Porém, a quantidade de água exsudada influencia diretamente a cor, a textura e a firmeza da carne crua, como também o sabor e o odor da carne cozida (PONNAMPALAM et al., 2017). Carnes que serão expostas ao varejo podem apresentar a perda de grande quantidade de água sendo pouco atrativo ao consumidor. Associado a isso a perda de água é considerado um problema sério para a indústria de alimentos, pois junto a água são perdidas proteínas solúveis, vitaminas e minerais (SAÑUDO et al, 2013).

Vários fatores afetam a CRA os principais são a velocidade de instalação do *rigor mortis* e o valor final do pH *post mortem*. O pH é responsável em modificar a ionização e as cargas líquidas das estruturas proteicas promovendo a desnaturação e/ou a insolubilidade das proteínas. Carnes com pH final próximo do ponto isoelétrico das proteínas (5,0 a 5,4) proporcionam a neutralização das cargas positivas e negativas contribuindo para que o sítio de ligação das proteínas não esteja disponível a ligações com moléculas de água, por outro lado pHs superiores conferem carnes com melhor CRA.

Carnes que apresentam alta CRA indicam proteínas intactas e mais solúveis, conferindo maior capacidade emulsificante e refletindo em produtos de maior qualidade.

Entretanto, a excessiva CRA devido a elevada solubilidade das proteínas, leva a formação de carnes DFD (*dark* = escuras, *firm* = firmes e *dry* = secas), as quais estão mais susceptíveis a alterações microbianas.

Segundo Ponnampalam et al. (2017) a formação de carnes DFD está diretamente associada as condições pré-abate e as baixas taxas de glicogênio muscular resultando em valores de pH mais elevados. No entanto, a espécie ovina é pouco estressável e não apresentam problemas de carnes DFD e PSE (*pale* = pálida, *soft* = macias e *exudative* = exsudativa). Sendo assim a espécie ovina está mais propícia a apresentar como produto final carnes RSE (*red-sik-pink* = rosa/vermelho, *soft* = macia e *exudative* = exsudativa) (OSÓRIO et al., 2014).

2.8.1.3. Perda por cozimento

A perda de peso no cozimento é uma importante característica física de qualidade associada ao rendimento da carne no momento do preparo (PARDI et al., 1993). Essa característica está diretamente associada a CRA. Além das características de qualidade, as perdas por cocção também influenciam a cor, a força de cisalhamento e a suculência da carne (SAÑUDO et al., 2000; SAÑUDO et al., 2013).

O método de cozimento pode afeta a qualidade do produto final e é considerado um ponto chave, já que a carne geralmente é cozida antes do consumo. O cozimento pode provocar vários efeitos positivos sobre a carne, como o melhor sabor, a destruição de microrganismos e o aumento da vida útil (OSÓRIO et al., 2014). Mas também pode refletir em efeitos negativos como a geração de hidrocarbonetos aromáticos e as perdas nutricionais (MUELA et al., 2016). A ocorrência tanto de fenômenos positivos e/ou negativos associados ao método de cozimento são totalmente dependentes da temperatura de cocção.

Em relação às modificações da composição química por cozimento valores notáveis de retenção de gordura são observados após o cozimento devido ao aumento do teor de matéria seca como resultado da desidratação durante o processo térmico (SAINSBURY et al., 2011). Após o processamento térmico os constituintes da carne sofrem uma reação induzida termicamente formando grande quantidade de compostos voláteis que contribuem para o seu aroma (MUELA et al., 2016).

Também é amplamente aceito que o calor é capaz de solubilizar o colágeno (tecido conjuntivo) presente na carne, resultando em carnes mais macias. No entanto a desnaturação de proteínas miofibrilares durante o processo de cocção está associada ao endurecimento da carne como também a redução na suculência da carne (FABRE et al., 2018).

2.8.1.4. Cor

Dentre os principais atributos de qualidade da carne a cor e a aparência são os mais importantes. Ponnampalam et al., (2017) descrevem a cor da carne como a primeira característica a ser observada pelo consumidor no momento da compra. Mudanças na cor que não tenha aspecto de carne fresca podem ser interpretadas como alterações das propriedades físicas e ao frescor da carne, o que pode influenciar diretamente sobre a decisão em adquirir o produto.

A cor da carne está associada tanto ao conteúdo como a forma da mioglobina. A mioglobina representa de 80 a 90% do pigmento total da carne e tem papel fundamental como uma proteína transportadora de oxigênio e também no armazenamento de oxigênio no músculo. Segundo Osório et al. (2014) a porção heme da mioglobina é fundamental para a determinação da cor e está diretamente associada ao estado de oxidação dos íons ferro. A mioglobina pode ser encontrada em três formas reduzida (Mb) de cor vermelha púrpura, oxigenada (O_2Mb) de cor vermelha brilhante e na forma oxidada (MMb) de coloração marrom (KNAPIK et al., 2017).

No meio científico a cor da carne pode ser medida por colorímetros no espaço de cores L^* , a^* e b^* , sendo L^* o índice de luminosidade, a^* índice de vermelho e b^* o índice de amarelo. Porém, o colorímetro não é capaz de medir a cor de toda a superfície da amostra sendo assim as leituras devem ser padronizadas, conferindo homogeneidade entre as áreas medidas (XIONG et al., 2014).

A cor da carne está intimamente relacionada ao seu pH e também a velocidade das reações químicas *post mortem* que contribuem para a queda do pH na carne. Animais submetidos a estresse pré-abate apresentam menor quantidade de glicogênio muscular refletindo em elevado pH final da carne (acima de 6,0) favorecendo a formação de carnes de cor escura (IMMONEN et al., 2000; PONNAMPALAM et al., 2017). Já Osório et al. (2014) descreveram que carnes com pH final baixo, favorecem a auto oxidação do pigmento, produzindo carnes de coloração mais claras.

Outro fator que influencia a cor da carne são os sistemas de terminação. Joy et al. (2008) descreveram diferenças na cor da carne de cordeiros quando foram terminados em diferentes sistemas de manejo, os quais notaram que cordeiros terminados a pasto apresentaram carnes mais escuras, o que provavelmente está associado ao exercício realizado pela busca de alimento. Ponnampalam et al. (2017) relataram efeito de escurecimento consistente com o aumento do tempo de pastejo atribuído ao aumento do pH final *post mortem* devido as baixas

taxas de glicogênio presentes no músculo. Osório et al. (2014) afirmaram que a carne de cordeiros manejados em confinamento geralmente são mais claras e que essa característica pode ser atribuída ao aumento da gordura intramuscular responsável por conferir maior leveza da cor (DE BRITO et al., 2017). No entanto, Jacques et al. (2016) relataram a carência de trabalhos científicos que tenham avaliado a cor da carne de cordeiros terminados em diferentes sistemas de manejo.

2.8.1.5. Textura e maciez

A textura pode ser definida como um conjunto de sensações distintas dentre elas a dureza e a maciez são os mais importantes. A maciez pode ser definida como a facilidade com que a carne se deixa mastigar, que pode ser dividida em três sensações diferentes pelo consumidor: uma inicial associada a facilidade de penetração e corte, a segunda mais prolongada que seria a resistência que oferece a ruptura ao longo da mastigação e por fim a sensação de resíduos após a mastigação (OSÓRIO et al., 2009).

A maciez está diretamente associada as estruturas proteicas presentes na carne, como também a proporção de tecido conjuntivo e muscular, sendo o tecido conjuntivo responsável em conferir maior dureza a carne (MUELA et al., 2016). O tecido muscular influi sobre a maciez em função da natureza e atividade de suas proteínas, onde proteínas miofibrilares são responsáveis pela instauração do *rigor mortis*, enquanto proteínas citoplasmáticas são responsáveis pelo processo de maturação ou amaciamento pós-morte envolvendo dois sistemas proteolíticos, catepsinas e calpastatinas, assim como seus inibidores específicos as calpastatinas.

O tecido adiposo também afeta a maciez da carne e a partir da quantidade de gordura intramuscular e dependendo do tamanho do corte a quantidade de gordura intramuscular terá grande importância, já que o aumento desta envolve aparente sensação de suculência (FAYED, 2018).

No entanto, na carne de cordeiro o fator maciez é considerado como fator secundário de preocupação, já que o sabor e o odor são considerados os mais importantes sobre a aceitabilidade da carne (SAÑUDO et al., 2013). O fato da maciez estar em segundo plano dentre as características sensoriais está associado ao abate majoritário de animais ainda jovens (idade menor que 1 ano), os quais não contribuem para problemas associados a maciez da carne (OSÓRIO et al., 2009).

Costa et al. (2016); Sañudo et al. (2000a); Sañudo et al. (2013) relataram que animais criados em confinamento recebendo dietas ricas em concentrado podem apresentar carnes mais macias quando comparados a animais terminados em pastagem, isso se deve a maior proporção de gordura depositada em animais confinados conferindo-lhes carnes mais macias.

2.8.1.6. Suculência

A suculência apresenta-se em duas formas de sensação. Inicialmente de umidade no início da mastigação devido a rápida liberação de suco e a segunda causada pela liberação do soro e pelo efeito estimulante da gordura sobre o fluxo salivar. Esta última sensação está associada a carnes secas, o que é frequentemente encontrado em carnes com pouca gordura (OSÓRIO et al., 2009). A quantidade de gordura intramuscular da carne é determinante sobre a suculência, já a gordura subcutânea tem efeito protetor e evita perdas de água.

Outro fator determinante sobre a suculência da carne está associado as diferenças encontradas na CRA que são explicadas pelos distintos valores de pH final. De acordo com Ponnampalam et al. (2017) carnes com pH muito baixo perdem mais água e serão mais secas, enquanto carnes com pH elevado terão boa retenção de água e serão mais suculentas.

O sistema de manejo e de alimentação são considerados os principais fatores em influenciar a suculência da carne. Watikins et al. (2013) relataram que animais criados em confinamento apresentam carnes mais suculentas, o que está associado a maior deposição de gordura na carne. Por outro lado animais criados exclusivamente em pastagem podem apresentar carnes com menor suculência devido a menor quantidade de gordura depositada. No entanto quando criados em pastagem e recebendo algum tipo de suplementação os efeitos sobre a suculência não são perceptíveis (ERASMUS et al., 2017).

2.8.1.7. *Flavour* (odor +sabor)

O *flavor* corresponde ao conjunto de impressões olfativas e gustativas provocadas no momento do consumo envolvendo o odor e o sabor. O odor do alimento está associado a existência de compostos voláteis, enquanto o sabor a presença de substancias solúveis (OSÓRIO et al., 2009).

Perceptível no momento do consumo o *flavor* desenvolve-se antes da introdução do alimento na boca, durante a mastigação e durante e depois da deglutição, influenciando mutuamente com as demais características sensoriais, determinando a aceitabilidade sensorial pelo consumidor.

Os compostos que atribuem sabor e aroma às carnes são formados por um conjunto de reações ocorridas em sua fração volátil e não volátil, dos quais podem resultar os ácidos fórmico e acético, ácidos graxos voláteis, aldeídos, ésteres, álcoois, cetonas, hidrocarbonetos, compostos aromáticos cíclicos, compostos nitrogenados e sulfurosos, pirróis, lactonas, furanos, nucleotídeos, nucleosídeos, aminoácidos, aminas, sais inorgânicos e ácidos graxos (COSTA et al., 2009).

Do ponto de vista sensorial os compostos voláteis responsáveis pelo sabor característico ovino são gerados por reações químicas como a oxidação lipídica durante o cozimento da carne. Portanto, o perfil ácidos graxos da carne associado a forma de criação dos animais pode afetar a qualidade sensorial da carne de cordeiro. A maior parte dos compostos voláteis de carbonila são gerados a partir da oxidação de ácidos graxos insaturados, os quais podem gerar compostos odoríferos poderosos (VASTA et al., 2012). Sañudo et al. (2000b) relatam que o aumento de ácidos graxos insaturados, mas principalmente aqueles de poli-insaturados proporcionam a elevação de sabores indesejáveis na carne, os quais estão mais susceptíveis à rápida oxidação.

Diferentes compostos foram identificados a partir da utilização de ácidos graxos como substrato. Carnes com alta concentração de ácido α -linolênico (18: 3n-3) favorecem a formação de compostos como 1-penteno-3-ol e 2-etil-furano, enquanto carnes com alto teor de ácido linoleico (18: 2n-6) liberam outros compostos como heptanal e (E, E) -2,4-decadienal (ELMORE et al., 2006).

Durante o cozimento compostos carbonílicos originados da oxidação lipídica também podem reagir com compostos amino, formando reações de escurecimento não enzimáticas (reações de Maillard), favorecendo a formação de fortes odores na carne derivados de compostos N-heterocíclicos como alquil-pirazinas e compostos contendo enxofre como 2-metil-3-furantiol (ELMORE et al., 1999; ELMORE et al., 2006).

As diferenças de *flavor* encontradas nos diferentes músculos de um ovino estão diretamente associadas a composição química e a função fisiológica do mesmo (COSTA et al., 2009). Foram estudadas a intensidade do *flavor* em diferentes cortes (paleta, costela e perna) e não foram encontradas diferenças significativas. Enquanto, para o *flavor* da gordura apresentou diferenças, sendo aqueles cortes com maior proporção de gordura (costela e paleta) os que apresentaram maior *flavor* quando comparados a perna (SHORLAND et al., 1970).

Segundo Bravo-Lamas et al. (2018) a intensidade do *flavor* é altamente influenciada pela idade do animal, machos adultos apresentam aroma mais intenso que fêmeas. No entanto, no caso de ovinos há uma carência muito grande pesquisas que realmente descrevam fatores que influenciam sobre o *flavor* (ERASMUS et al., 2017).

Porém, a dieta é considerada fator fundamental em influenciar o *flavor* da carne, embora existam resultados contraditórios na literatura (OSÓRIO et al., 2009). Bravo-Lamas et al. (2018) relataram que animais alimentados com forragem fresca apresentam menor intensidade do *flavor*, já que a concentração de indóis formados no rúmen é menor quando comparamos a animais terminados em confinamento recebendo grandes quantidades de alimento concentrado. Costa et al. (2009) descreveram que a suplementação lipídica pode ser eficiente em reduzir a intensidade do *flavor* uma vez que seja capaz de modificar o perfil de ácidos graxos visando o aumentando daqueles benéficos a saúde humana. Porém, De Lima Júnior et al. (2013) destacaram a importância da suplementação com antioxidantes via dieta quando busca-se a preservação dos ácidos graxos poli-insaturados visando o aumentando da vida de prateleira da carne e melhor aceitabilidade ao paladar do consumidor.

2.8.2. Composição da carne

Para que a produção, a padronização e a comercialização da carne de cordeiro se organize um dos fatores que deve ser considerado é o processo de crescimento desses animais, uma vez que isso influencia de forma marcante a composição química e física da carne (SAÑUDO et al., 2013). A carne se caracteriza pela natureza das proteínas de alto valor biológico que a compõem, não somente do ponto de vista quantitativo, como qualitativo. Além de sua riqueza em aminoácidos essenciais, ela contém umidade, gordura, vitaminas, glicídios e sais minerais.

A composição química da carne pode ser influenciada por fatores como raça, ambiente, dieta (CRUZ et al., 2016), espécie, sexo, nutrição e peso de abate (SAÑUDO et al., 2013).

2.8.2.1. Umidade

Dentre os componentes do tecido muscular a água é o maior constituinte e seu teor é inversamente proporcional ao conteúdo de gordura. A água existente nos tecidos apresenta proporções variáveis entre 71% e 76%, sendo esse valor constante de um músculo para outro no mesmo animal e entre espécies.

Por ser tão abundante tem grande influência na qualidade da carne influenciando diretamente sobre características sensoriais como suculência, textura, cor e sabor (MUELA et al., 2016).

A água pode ser encontrada na carne em três regiões ao redor da molécula de proteína (PEARCE et al., 2011):

a) água associada à proteínas, representa 5% e é caracterizada pela água ligada firmemente as proteínas do músculo;

b) água presa ou imobilizada, representa 10%, responsável por atenuar os efeitos de orientação das moléculas que gradativamente se convertem;

c) água livre, representa 85% respectivamente.

A idade do animal é um fator determinante sobre as proporções de água presente na carne. Observa-se que com o aumento da idade ao abate o conteúdo de água presente na carne tende a diminuir, o que está associado a maior proporção de gordura depositada na carcaça (SAÑUDO et al., 2013).

Quanto ao sistema de manejo praticado De Brito et al. (2017) reportaram que cordeiros terminados em confinamento depositam gordura mais facilmente na carcaça em comparação a cordeiros terminados em pastagem. Porém, os mesmos autores não observaram diferenças sobre o conteúdo de água na carne quando os animais são terminados em diferentes sistemas de manejo.

2.8.2.2. Proteína

A proteína é o segundo maior componente da carne variando entre 18% a 22% (OSÓRIO et al., 2014). Além da fração proteica do tecido muscular há uma porção não proteica representando cerca de 1,5%, composta basicamente por aminoácidos livres e nucleotídeos.

As proteínas musculares podem ser divididas em três grupos: sarcoplasmáticas, miofibrilares e estromáticas. As sarcoplasmáticas são proteínas solúveis, representando cerca de 30% - 35% do total de proteínas e constituídas principalmente por enzimas e mioglobina. As proteínas miofibrilares (60 a 50%) são representadas principalmente por miosina e actina, enquanto as proteínas estromáticas (10% a 15%) são proteínas insolúveis e constituídas principalmente por colágeno e elastina (BEKHIT, 2013).

As proteínas musculares caracterizam-se pela disponibilidade em aminoácidos essenciais de elevada digestibilidade, o que as confere alto valor biológico. Do ponto de vista

fisiológico as proteínas são nutrientes necessários na formação de enzimas, hormônios e hemoglobina. Elas participam da regulação do metabolismo hídrico, da determinação do pH dos diversos tecidos e do processo de imunidade natural às infecções (PARDI et al., 1993).

2.8.2.3. Extrato etéreo

A gordura pertence a um grupo heterogêneo de compostos insolúveis em água e solúveis em solventes apolares, como éter, clorofórmio e benzeno. Essa fração é importante constituinte dietético, por conter alto conteúdo energético, vitaminas lipossolúveis, como vitaminas A, D, E, K e ácidos graxos essenciais (CRUZ et al., 2016).

A gordura depositada na carne tem participação em atributos sensoriais desejáveis, como maciez, suculência e aroma. A gordura intramuscular ou de marmoreio e o grau de gordura de cobertura são apontados como fatores que contribuem pra suculência e maciez quando comparados com as diferentes localizações da gordura na carcaça e na carne.

Os lipídeos constituem o componente mais variável da gordura na carne oscilando sua proporção conforme a espécie, a raça, o sexo, manejo, a alimentação, região anatômica, idade do animal e até mesmo o clima (SAÑUDO et al., 2013).

2.8.2.4. Cinzas

Os minerais presentes na carne exercem um importante papel fisiológico em sua constituição. Essas substâncias minerais são parte integrante de um grande número de enzimas, intervindo na regulação da atividade muscular e nervosa, além de realizar um papel importante na transformação do músculo em carne (LUCHIARI FILHO, 2000).

A matéria mineral da carne representa em média 1,5% de sua composição química e está distribuída irregularmente no tecido muscular: 40% encontra-se no sarcoplasma, 20% formam parte dos componentes celulares e o restante distribui-se nos líquidos extracelulares (GEAY et al., 2001).

De forma geral, potássio, fósforo, sódio, cloro, magnésio e ferro são os principais constituintes minerais da carne. O ferro exerce papel fundamental por participar da síntese da hemoglobina, mioglobina e certas enzimas. O cálcio está presente principalmente nos ossos e dentes e em pequenas quantidades no músculo e outros tecidos comestíveis. Outros minerais também são encontrados em pequenas quantidades, como cobre, manganês, zinco, molibdênio, cobalto e iodo (CABRERA et al., 2014).

2.9. Perfil de ácidos graxos e saúde humana

A quantidade de gordura presente na carne vermelha, mas o perfil de ácidos graxos tem despertado cada vez mais a curiosidade do consumidor, uma vez que problemas de saúde como doenças cardiovasculares estão associados com a ingestão de dietas ricas em ácidos graxos saturados.

A carne ovina caracteriza-se por conter grandes quantidades de ácido graxos saturados. De acordo com Cooper et al., (2004) e Hopkins et al. (2014) a gordura intramuscular presente no músculo de cordeiros contem entre 46 e 50% de ácidos graxos saturados, 38% de ácidos graxos monoinsaturados e de 12 a 16% de ácidos graxos poli-insaturados. Dentre os ácidos graxos presentes na carne destacam-se o ácido palmítico (C16:0), esteárico (C18:0) e oleico (C18:1 *cis*-9), os quais são encontrados majoritariamente na composição dos fosfolipídios e triglicerídeos.

A maior proporção de ácidos graxos saturados na carne de animais ruminantes tem sido associada ao aumento da concentração de lipoproteínas de baixa densidade (LDL) tido como colesterol ruim. Segundo Combe et al. (2007) o aumento nos níveis de LDL plasmático em humanos está associado a dietas ricas em ácidos graxos palmítico, mirístico e láurico, tidos como ácidos graxos hipercolesterolêmicos associados a doença cardiovascular aterosclerótica, particularmente a doença coronariana (LADEIRA et al., 2011; REINER et al., 2018).

Outro fator também associado ao perfil de ácidos graxos na carne vermelha e a saúde humana, é quanto a presença de ácidos graxos *trans* produzidos durante o processo de bio-hidrogenação. No entanto, é controverso afirmar que todos os ácidos graxos com conformação *trans* nos produtos de ruminantes são maléficos a saúde do homem. Os ácidos C18:1 *trans*-11 (vacênico) e C18:2 *cis*-9 *trans*-11 (CLA) são conhecidos como benéficos a saúde humana e estão associados a redução de doenças carcinogênicas (CHIN et al., 1992; GEBAUER et al., 2011; LIM et al., 2014). Entretanto, o C18:1 *trans*-10 formado em condições de baixo pH ruminal está associado ao aumento do risco de doenças cardiovasculares (HODGSON et al., 1996; MAPIYE et al., 2015).

Recentemente um grande número de pesquisas tem destacado a importância de manipular o perfil de ácidos graxos na carne visando majoritariamente reduzir a quantidade de ácidos saturados e aumentar os ácidos graxos insaturados, mas de forma mais importante aqueles poli-insaturados perfazendo um alimento de melhor qualidade a saúde do homem.

Dentre os ácidos graxos poli-insaturados os da série ômega-6 e ômega-3 são os mais importantes e são considerados essenciais à manutenção do bem-estar e da saúde humana. Os principais ácidos graxos da série ômega-6 são o ácido linoleico (C18:2) e o araquidônico (C20:4). Já os principais ácidos graxos da série ômega-3 são o α -linolênico (C18:3), eicosapentaenoico (C20:5 – EPA) e docosaexaenoico (C22:6 – DHA).

Na área científica e médica os ácidos graxos ômega-3 são caracterizados por efeitos multidirecionais na saúde humana apresentando propriedades anticoagulantes e anti-hipertensivas regulando o metabolismo lipídico e permitindo o funcionamento adequado do sistema nervoso central e da visão (SOKOŁA-WYSOCZAŃSKA et al., 2018). Os ácidos graxos ômega-3 também apresentam um amplo espectro de propriedades anti-inflamatórias, o que os torna agentes eficientes para uso em pacientes que apresentam vários distúrbios ou condições de saúde baseadas em inflamação. Alguns pesquisadores também sugeriram que os ácidos graxos ômega-3 podem ter um papel importante na prevenção de vários tipos de câncer (FABIAN et al., 2015).

Aprofundando um pouco mais a questão das consequências dos ácidos graxos presentes na carne sobre a saúde humana as doenças cardiovasculares estão entre as maiores preocupações. Segundo Costa et al. (2008) o desenvolvimento dessas doenças é resultado de dois processos: a aterogênese e a trombogênese. A aterogênese depende principalmente da interação entre as lipoproteínas e o endotélio vascular envolvendo as plaquetas, os monócitos e fatores hemostáticos. A formação do trombo ocorre apenas quando existe lesão endotelial.

De acordo com Ulbricht et al. (1991) é possível conhecendo o perfil de ácidos graxos da carne gerar os índices de aterogenicidade e trombogenicidade como indicador para o risco de doenças cardiovasculares. O índice de aterogenicidade relaciona os ácidos graxos pró e antiaterogênicos e esses indicam o potencial de estímulo à agregação plaquetária. Quanto menores os valores do índice de aterogenicidade maior a quantidade de ácidos graxos antiaterogênicos presentes na gordura e conseqüentemente maior o potencial de prevenção ao aparecimento de doenças coronárias (SCOLLAN et al., 2017).

2.10. Oxidação lipídica na carne

A oxidação lipídica atua como causa principal sobre a deterioração dos produtos cárneos, pois afeta negativamente a cor, o sabor, a vida útil e os atributos de textura (ESTÉVEZ et al., 2005). A oxidação de lipídeos está associada a origem de sabores e odores característicos de ranço, levando a rejeição pelo consumidor. A carne é normalmente rica em triglicerídeos e

fosfolípidios que afastados da proteção natural por ocasião do abate e falência da circulação sanguínea sofrem processos de oxidação (OSAWA et al., 2005).

Alguns autores estimam de forma segura que a vida de prateleira da carne ovina não supera 10 dias em situações de refrigeração no 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 (LIMA JÚNIOR et al., 2013).

A aplicação de antioxidantes diretamente nos produtos cárneos ou na dieta dos animais visando prolongar a vida de prateleira vem recebendo bastante atenção, principalmente aqueles antioxidantes considerados naturais. A utilização de antioxidantes naturais está associada aumento dos efeitos prolongadores da vida de prateleira da carne. Alguns antioxidantes naturais também podem modificar o perfil de ácidos graxos depositados nos tecidos 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 reduzir a oxidação lipídica e aumento da vida de prateleira da carne como por exemplo a utilização de embalagens a vácuo, atmosfera modificada ou a utilização de antioxidantes.

Os fenômenos associados a oxidação lipídica estão associados a reações extremamente complexas, que estão relacionados com o tipo de estrutura lipídica e o meio onde se encontra. Além disso, o número e a natureza das insaturações presentes nos ácidos graxos, a exposição a luz e ao calor, a presença de pró-oxidantes ou de fatores antioxidantes, são determinantes para estabilidade oxidativa dos lipídeos (WHEATLEY, 2000).

Os mecanismos de oxidação podem ocorrer por várias vias, em função do meio e dos agentes catalizadores. Nos sistemas biológicos, os lipídeos podem sofrer oxidação a partir de 3 mecanismos principais: fotoxidação, autoxidação e oxidação enzimática (LAGUERRE et al., 2007; LIMA JÚNIOR et al., 2013).

A fotoxidação é provocada essencialmente pela radiação ultravioleta em presença de sensibilizadores, como a mioglobina, por exemplo, e envolve a participação de radicais livres, resultando na formação de hidroperóxidos.

A autoxidação trata-se de um fenômeno puramente químico, envolvendo reações com a presença de radicais livres. E essa reação é dependente do tipo de ação catalítica, envolvendo

a temperatura, pH, íons metálicos e radicais livres. Durante as reações envolvidas no processo de autoxidação, é possível distinguir três etapas da evolução oxidativa: a) desaparecimento de substratos de oxidação, como oxigênio e ácidos graxo; 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.

A oxidação enzimática ocorre pela ação das lipoxigenase, enzimas que atuam sobre os ácidos graxos inserindo moléculas de oxigênio na cadeia de acila. O resultado desse processo de oxidação é a formação de hidroperóxidos e peróxidos com duplas ligações conjugadas que podem desenvolver diferentes reações degenerativas na carne.

No entanto, em todos os mecanismos de oxidação lipídica é necessário a presença de um radical livre para que ocorram as reações já que esse reage com a cadeia de acila do ácido graxo resultando na formação de um peróxido. Diante disso, o peróxido formado reagirá sobre a cadeia de outro ácido graxo extraíndo os hidrogênios presentes na mesma e originado um hidroperóxido, sendo a cadeia do ácido graxo que teve seus hidrogênios extraídos um novo peróxido, que possibilitara a perpetuação do ciclo (WHEATLEY, 2000). Os radicais livres são formados por certas oxidases, cuja ação é favorecida pela presença de metais de transição como o Fe^{2+} e o Cu^+ , ácidos graxos insaturados, mioglobina, hemoglobina, citocromos, luz, calor e condições alcalinas (SINGH et al., 2016), e também pela influência das condições de abate (*stress*, pH, estimulação elétrica, temperatura de arrefecimento da carcaça) e ainda pela presença das vitaminas E e C.

Atualmente, o teste de TBA (ácido 2-tiobarbitúrico) ou TBARS (Substâncias reativas no ácido 2- tiobarbitúrico) é o mais utilizado para verificar os efeitos da oxidação lipídica em carnes e derivados. Esse teste quantifica o malonaldeído, um dos principais produtos da decomposição dos hidroperóxidos dos ácidos graxos poli-insaturados, formado durante o processo oxidativo (LIMA JÚNIOR et al., 2013).

Devido a fluidez da membrana celular os fosfolipídios presentes no musculo geralmente apresentam mais ácidos graxos poli-insaturados que os triglicerídeos, o que os torna mais susceptíveis a oxidação, sendo os principais contribuintes para a formação inicial de malonaldeído. Fatores como grau de instauração dos ácidos graxos, presença de metais, pH e temperatura, são variáveis importantes na velocidade de formação e aumento do número de TBA.

3. Referências

ACHEAMPONG-BOATENG, O. et al. Growth performance and carcass characteristics of feedlot cattle fed different levels of macadamia oil cake. **Tropical Animal Health and Production**, v. 40, n. 3, p. 175–179, 2008.

ALVARENGA, T. I. R. C. et al. Manipulation of Omega-3 PUFAs in lamb: Phenotypic and genotypic views. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 14, n. 3, p. 189–204, 2015.

ARCO. **Associação dos Criadores de Ovinos**. Disponível em: <<http://www.arcoovinos.com.br/index.php/mn-srgo/mn-padroesraciais/55-dorper>>. Acesso em: 27 fev. 2018.

BARROS, C.S., MONTEIRO, A. L. G., PRADO, O. R. **Gestão e controle de custos nos sistemas de produção de ovinos e caprinos**. XIV SIMPÓSIO PARANAENSE DE OVINOCULTURA, II SIMPÓSIO PARANAENSE DE CAPRINOCULTURA, I SIMPÓSIO SUL BRASILEIRO DE OVINOS E CAPRINOS. **Anais...**Curitiba-PR: 2009

BAUMAN, D. E. et al. Regulation of fat synthesis by conjugated linoleic acid: lactation and the ruminant model. **The Journal of nutrition**, v. 138, n. 2, p. 403–409, 2008.

BEKHIT, A. E. D. **Can information influence the value and quality perception of beef**. Proceedings of 59th Intl. Congress of Meat Sci and Technology. **Anais...**2013

BESSA, R. J. B.; ALVES, S. P.; SANTOS-SILVA, J. Constraints and potentials for the nutritional modulation of the fatty acid composition of ruminant meat. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 117, n. 9, p. 1325–1344, 2015.

BIANCHI, M. DE L. P.; ANTUNES, L. M. G. Radicais livres e os principais antioxidantes da dieta. **Revista de Nutrição**, v. 12, n. 2, p. 123–130, 1999.

BIONAZ, M.; THERING, B. J.; LOOR, J. J. Fine metabolic regulation in ruminants via nutrient-gene interactions: Saturated long-chain fatty acids increase expression of genes involved in lipid metabolism and immune response partly through PPAR- α activation. **British Journal of Nutrition**, v. 107, n. 2, p. 179–191, 2012.

BJERMO, H.; RISÉRUS, U. Role of hepatic desaturases in obesity-related metabolic disorders. **Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care**, v. 13, n. 6, p. 703–708, 2010.

BOHNERT, D. W.; STEPHENSON, M. B. Supplementation and sustainable grazing systems. **Journal of Animal Science**, v. 94, p. 15–25, 2016.

BOTOLIN, D. et al. Docosahexaneic acid (22:6,n-3) regulates rat hepatocyte SREBP-1 nuclear abundance by Erk- and 26S proteasome-dependent pathways. **Journal of Lipid Research**, v. 47, n. 1, p. 181–192, 2006.

BRAVO-LAMAS, L. et al. Fatty acid composition of intramuscular fat and odour-active compounds of lamb commercialized in northern Spain. **Meat Science**, v. 139, n. April 2017, p. 231–238, 2018.

BRENNER, R. R. et al. Desaturase Activities in Rat Model of Insulin Resistance Induced by a Sucrose-Rich Diet. **Lipids**, v. 38, n. 7, p. 733–742, 2003.

BRITO, G. F.; PONNAMPALAM, E. N.; HOPKINS, D. L. The Effect of Extensive Feeding Systems on Growth Rate, Carcass Traits, and Meat Quality of Finishing Lambs. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 16, n. 1, p. 23–38, 2017.

BURNS, T. A. et al. Supplemental palmitoleic (C16:1 cis-9) acid reduces lipogenesis and desaturation in bovine adipocyte cultures. **Journal of Animal Science**, v. 90, n. 10, p. 3433–3441, 2012.

CABRERA, M. C.; SAADOUN, A. An overview of the nutritional value of beef and lamb meat from South America. **Meat Science**, v. 98, n. 3, p. 435–444, 2014.

CANNON, J. E. et al. Growth and Fresh Meat Quality Characteristics of Pigs Supplemented with Vitamin E 1 ABSTRACT : n. March, p. 98–105, 1995.

CAO, H. et al. Identification of a Lipokine, a Lipid Hormone Linking Adipose Tissue to Systemic Metabolism. **Cell**, v. 134, n. 6, p. 933–944, 2008.

CARVALHO, J. R. R. DE. **Desempenho e aproveitamento pós-ruminal do amido em tourinhos sem volumoso**. [s.l.] UFLA, 2015.

CASTRO, L. F. C. et al. The evolutionary history of the stearyl-CoA desaturase gene family in vertebrates. **BMC Evolutionary Biology**, v. 11, p. 132, 2011.

CATTELAN, A. J.; DALL'AGNOL, A. The rapid soybean growth in Brazil. **Oilseeds & fats Crops and Lipids**, v. 25, n. 1, p. 1–12, 2018.

CHAKRAVARTHY, M. V. et al. Identification of a Physiologically Relevant Endogenous Ligand for PPAR α in Liver. **Cell**, v. 138, n. 3, p. 476–488, 2009.

CHAUHAN, S. S. et al. Functionality and genomics of selenium and Vitamin E supplementation in ruminants. **Animal Production Science**, v. 56, n. 8, p. 1285–1298, 2016.

CHIKWANHA, O. C. et al. Nutritional enhancement of sheep meat fatty acid profile for human health and wellbeing. **Food Research International**, v. 104, n. May 2017, p. 25–38, 2018.

CHIN, S. F. et al. Dietary Sources of Conjugated Dienoic Isomers of Linoleic Acid , a Newly Recognized Class of Anticarcinogens. **JOURNAL OF FOOD COMPOSITION AND ANALYSIS**, v. 197, n. 608, 1992.

COLGAN, S. M. et al. Endoplasmic reticulum stress causes the activation of sterol regulatory element binding protein-2. **International Journal of Biochemistry and Cell Biology**, v. 39, n. 10, p. 1843–1851, 2007.

COMBE, N. et al. Trans fatty acids, conjugated linoleic acids, and cardiovascular diseases. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 109, n. 9, p. 945–953, 2007.

CORDÃO, M.A.; BAKKE, O.A.; PEREIRA, G.M.; SILVA, A.M.A.; BRITO, G.A.; BEZERRA, P. Y. F. Inclusão de ramos e frutos de jurema preta e farelo de palma forrageira na dieta de Ovinos Santa Inês - Revisão. v. 6, 2012.

COSTA, D. F. A. et al. Supplementation of cattle fed tropical grasses with microalgae increases microbial protein production and average daily gain. **Journal of Animal Science**, v. 94, n. 5, p. 2047–2058, 2016.

COSTA, M. et al. The reduction of starch in finishing diets supplemented with oil does not prevent the accumulation of trans-10 18:1 in lamb meat. **Journal of Animal Science**, v. 95, n. 8, p. 3745–3761, 2017.

COSTA, P. et al. Muscle fiber and fatty acid profiles of Mertolenga-PDO meat. **Meat Science**, v. 78, n. 4, p. 502–512, 2008.

COSTA, R. G. et al. Características Sensoriais da Carne Ovina: Sabor e Aroma. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 11, p. 157–171, 2009.

CRUZ, B. C. C. DA et al. Avaliação e composição centesimal e as características físico- químicas da carne de ovinos. **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 10, n. 2, p. 147–162, 2016.

DALRYMPLE, B. P.; GUO, B. Triennial growth and development symposium:

Intramuscular fat deposition in ruminants and pigs: A transcriptomics perspective. **Journal of Animal Science**, v. 95, n. 5, p. 2272–2283, 2017.

DE LIMA JÚNIOR, D. M. et al. Oxidação lipídica e qualidade da carne ovina. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 7, n. 1, p. 14–28, 2013.

DE SOUZA, C. O. et al. Is Palmitoleic Acid a Plausible Nonpharmacological Strategy to Prevent or Control Chronic Metabolic and Inflammatory Disorders? **Molecular Nutrition and Food Research**, v. 62, n. 1, p. 1–12, 2018.

DESCALZO, A. M.; SANCHO, A. M. A review of natural antioxidants and their effects on oxidative status, odor and quality of fresh beef produced in Argentina. **Meat Science**, v. 79, n. 3, p. 423–436, 2008.

DIMOPOULOS, N. et al. Differential effects of palmitate and palmitoleate on insulin action and glucose utilization in rat L6 skeletal muscle cells. **Biochemical Journal**, v. 399, n. 3, p. 473–481, 2006.

DOBRZYN, A.; NTAMBI, J. M. Stearoyl-CoA desaturase as a new drug target for obesity treatment. **Obesity**, v. 6, p. 169–174, 2005.

DUCKETT, S. K. et al. Palmitoleic acid reduces intramuscular lipid and restores insulin sensitivity in obese sheep. **Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity: Targets and Therapy**, v. 7, p. 553–563, 2014.

ECKERT, C. T. et al. Maize ethanol production in Brazil: Characteristics and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, n. October 2017, p. 3907–3912, 2018.

ELMORE, J. S. et al. Effect of the Polyunsaturated Fatty Acid Composition of Beef Muscle on the Profile of Aroma Volatiles Effect of the Polyunsaturated Fatty Acid Composition of Beef Muscle on the Profile of Aroma Volatiles. n. 1986, 1999.

ELMORE, J. S.; MOTTRAM, D. S. The role of lipid in the flavour of cooked beef. **Developments in Food Science**, v. 43, n. C, p. 375–378, 2006.

ENJALBERT, F. et al. Rumen microbiota and dietary fat: a mutual shaping. **Journal of Applied Microbiology**, v. 123, n. 4, p. 782–797, 2017.

ERASMUS, S. W.; MULLER, M.; HOFFMAN, L. C. Authentic sheep meat in the European Union: Factors influencing and validating its unique meat quality. **Journal of the**

Science of Food and Agriculture, v. 97, n. 7, p. 1979–1996, 2017.

ESTANY, J. et al. A functional variant in the stearyl-CoA desaturase gene promoter enhances fatty acid desaturation in pork. **PLoS ONE**, v. 9, n. 1, p. 1–11, 2014.

ESTÉVEZ, M.; VENTANAS, S.; CAVA, R. Protein Oxidation in Frankfurters with Increasing Levels of Added Rosemary Essential Oil: Effect on Color and Texture Deterioration. **J Food Sci**, v. 70, n. 7, p. c427–c432, 2005.

FABIAN, C. J.; KIMLER, B. F.; HURSTING, S. D. Omega-3 fatty acids for breast cancer prevention and survivorship. **Breast Cancer Research**, v. 17, n. 1, p. 1–11, 2015.

FABRE, R. et al. Cooking method effect on Warner-Bratzler shear force of different beef muscles. **Meat Science**, v. 138, n. December 2017, p. 10–14, 2018.

FAGUNDES, G. M.; MODESTO, E. C.; SOUZA, V. C. DE. Ácidos Graxos de Cadeia Ímpar e Ramificada do Leite. p. 23–33, [s.d.].

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL>>.

FAUSTMAN, C. et al. Beef Color Update : The Role for Vitamin E 1 ABSTRACT : n. March, 1996.

FAVORETTO, V. **Pastagens para Ovinos**. FUNEP ed. Jaboticabal: [s.n.].

FAYED, S. **Lamb and Mutton: Learn the Difference**. Disponível em: <<https://www.thespruceeats.com/the-difference-between-lamb-and-mutton-2356034>>.

FERNANDES, S. R. et al. Performance, carcass traits and costs of Suffolk lambs finishing systems with early weaning and controlled suckling. **Revista Ceres**, v. 61, n. 2, p. 184–192, 2014.

FIORENTINI, G. et al. Effect of lipid sources with different fatty acid profiles on intake, nutrient digestion and ruminal fermentation of feedlot Nellore steers. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 28, n. 11, p. 1583–1591, 2015.

FIRESTONE, D. **Physical and chemical characteristics of oils, fats, and waxes**. [s.l.: s.n.]. v. I

FIRETTI, R. et al. Identificação de Demanda e Preferências no Consumo de Carne Ovina. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 55, n. 4, p. 679–692, 2017.

FONTELES, N. L. DE O. et al. Inclusão de gordura na alimentação de caprinos e seu efeito sobre o perfil lipídico no leite: Revisão. **Pubvet**, v. 10, p. 271–355, 2016.

FRUET, A. P. B. et al. Oxidative stability of beef from steers finished exclusively with concentrate, supplemented, or on legume-grass pasture. **Meat Science**, v. 145, n. June, p. 121–126, 2018.

GALLO, S. B. et al. Whole grain diet for Feedlot Lambs. **Small Ruminant Research**, v. 120, n. 2–3, p. 185–188, 2014.

GALVANI, D. B. et al. Energy efficiency of growing ram lambs fed concentrate-based diets with different roughage sources. **Journal of Animal Science**, v. 92, n. 1, p. 250–263, 2014.

GEAY, Y. et al. Effect of nutritional factors on biochemical, structural and metabolic characteristics of muscles in ruminants, consequences on dietetic value and sensorial qualities of meat. **Reproduction, nutrition, development**, v. 41, n. 1, p. 1–26, 2001.

GEBAUER, S. K. et al. Effects of ruminant trans fatty acids on cardiovascular disease and cancer: A comprehensive review of epidemiological, clinical, and mechanistic studies. **Advances in Nutrition**, v. 2, n. 4, p. 332–354, 2011.

GIBB, D. J. et al. Effect of full-fat hemp seed on performance and tissue fatty acids of feedlot cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 85, n. 2, p. 223–230, 2005.

GOLDSTEIN, J. L.; DEBOSE-BOYD, R. A.; BROWN, M. S. Protein sensors for membrane sterols. **Cell**, v. 124, n. 1, p. 35–36, 2006.

GONZÁLEZ-CALVO, L. et al. Effect of vitamin E supplementation or alfalfa grazing on fatty acid composition and expression of genes related to lipid metabolism in lambs. **Journal of Animal Science**, v. 93, n. 6, p. 3044–3054, 2015.

GRAUGNARD, D. E. et al. High-starch diets induce precocious adipogenic gene network up-regulation in longissimus lumborum of early-weaned Angus cattle. **British Journal of Nutrition**, v. 103, n. 7, p. 953–963, 2010.

GREEN, C. D. et al. Role of fatty acid elongases in determination of de novo synthesized monounsaturated fatty acid species. **Journal of Lipid Research**, v. 51, n. 7, p. 1871–1877, 2010.

GRIINARI, J. M. et al. Trans-Octadecenoic Acids and Milk Fat Depression in

Lactating Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, v. 81, n. 5, p. 1251–1261, 1998.

GUILLOU, H. et al. The key roles of elongases and desaturases in mammalian fatty acid metabolism: Insights from transgenic mice. **Progress in Lipid Research**, v. 49, n. 2, p. 186–199, 2010.

HAZLEWOOD, G.; DAWSON, R. M. Characteristics of a lipolytic and fatty acid-requiring *Butyrivibrio* sp. isolated from the ovine rumen. **Journal of general microbiology**, v. 112, n. 1, p. 15–27, 1979.

HERRERA-CAMACHO, J.; SOBERANO-MARTINEZ, A. ET AL. Effect of Fatty Acids on Reproductive os Ruminantes. **Veterinary Medicine and Science**, 2011.

HODGSON, J. M. et al. Platelet trans fatty acids in relation to angiographically assessed coronary artery disease. **Atherosclerosis**, v. 120, n. 1–2, p. 147–154, 1996.

HOFFMAN, N. J. et al. Chromium enhances insulin responsiveness via AMPK. **Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 25, n. 5, p. 565–572, 2014.

HORTON, J. D.; GOLDSTEIN, J. L.; BROWN, M. S. Critical review. **Most**, v. 109, n. 9, p. 1125–1131, 2002.

ICHIMURA, A. et al. Dysfunction of lipid sensor GPR120 leads to obesity in both mouse and human. **Nature**, v. 483, n. 7389, p. 350–354, 2012.

IMMONEN, K. et al. Bovine muscle glycogen concentration in relation to finishing diet, slaughter and ultimate pH. **Meat Science**, v. 55, n. 1, p. 25–31, 2000.

ISSEMANN, I.; GREEN, S. Activation of a member of the steroid hormone receptor superfamily by peroxisome proliferators. **Nature**, v. 347, n. 6294, p. 645–650, 1990.

JACQUES, J. et al. Meat quality, organoleptic characteristics and fatty acid composition of Dorset lambs fed different forage to concentrate ratio or fresh grass. **Canadian Journal of Animal Science**, n. C, p. 1–40, 2016.

JAKOBSSON, A.; WESTERBERG, R.; JACOBSSON, A. Fatty acid elongases in mammals: Their regulation and roles in metabolism. **Progress in Lipid Research**, v. 45, n. 3, p. 237–249, 2006.

JOY, M. et al. Ewe metabolic performance and lamb carcass traits in pasture and concentrate-based production systems in Churra Tensina breed. **Small Ruminant Research**, v. 75, n. 1, p. 24–35, 2008.

KAIJSER, A.; DUTTA, P.; SAVAGE, G. Oxidative stability and lipid composition of macadamia nuts grown in New Zealand. **Food Chemistry**, v. 71, n. 1, p. 67–70, 2000.

KARAMI, M. et al. Effects of dietary antioxidants on the quality, fatty acid profile, and lipid oxidation of longissimus muscle in Kacang goat with aging time. **Meat Science**, v. 88, n. 1, p. 102–108, 2011.

KIM, H.-J.; MIYAZAKI, M.; NTAMBI, J. M. Dietary cholesterol opposes PUFA-mediated repression of the stearoyl-CoA desaturase-1 gene by SREBP-1 independent mechanism. **Journal of Lipid Research**, v. 43, n. 10, p. 1750–1757, 2002.

KIM, J. B. et al. Dual DNA binding specificity of ADD1/SREBP1 controlled by a single amino acid in the basic helix-loop-helix domain. **Molecular and cellular biology**, v. 15, n. 5, p. 2582–2588, 1995.

KNAPIK, J.; ROPKA-MOLIK, K.; PIESZKA, M. Genetic and Nutritional Factors Determining the Production and Quality of Sheep Meat – A Review. **Annals of Animal Science**, v. 17, n. 1, p. 23–40, 2017.

LADEIRA, M.M.; CHIZZOTI, M.L.; CHALFUN JR., A. **Manipulação da qualidade da carne bovina via suplementação com lipídeos**. VII SIMPÓSIO DE PECUÁRIA DE CORTE. II INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF BEEF CATTLE. **Anais...**Lavras-MG: 2011

LADEIRA, M. M. et al. Nutrigenomics and beef quality: A review about lipogenesis. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 17, n. 6, p. 1–21, 2016.

LADEIRA, M. M. et al. Review: Nutrigenomics of marbling and fatty acid profile in ruminant meat. **Animal**, 2018.

LAGUERRE, M.; LECOMTE, J.; VILLENEUVE, P. Evaluation of the ability of antioxidants to counteract lipid oxidation: Existing methods, new trends and challenges. **Progress in Lipid Research**, v. 46, n. 5, p. 244–282, 2007.

LATHAM, M. J.; STORRY, J. E.; SHARPE, M. E. Effect of low-roughage diets on the microflora and lipid metabolism in the rumen. **Applied microbiology**, v. 24, n. 6, p. 871–7, 1972.

LÊ, K. A. et al. Effects of four-week high-fructose diet on gene expression in skeletal muscle of healthy men. **Diabetes and Metabolism**, v. 34, n. 1, p. 82–85, 2008.

LENGI, A. J.; CORL, B. A. Identification and characterization of a novel bovine

stearoyl-CoA desaturase isoform with homology to human SCD5. **Lipids**, v. 42, n. 6, p. 499–508, 2007.

LEROUX, C. et al. Bovine mammary nutrigenomics and changes in the milk composition due to rapeseed or sunflower oil supplementation of high-forage or high-concentrate diets. **Journal of Nutrigenetics and Nutrigenomics**, v. 9, n. 2–4, p. 65–82, 2016.

LIM, J. N., OH, J. J., WANG, T., LEE, J. S., KIM, S. H., KIM, Y. J., & LEE, H. G. Trans-11 18: 1 vaccenic acid (TVA) has a direct anti-carcinogenic effect on MCF-7 human mammary adenocarcinoma cells. **Nutrients**, v. 6, n. 2, p. 627–636, 2014.

LIMA, N.L.L.; RIBEIRO, C.R.F.; SÁ, H.C.M.; LEOPOLDINO JÚNIOR , I.; SANTANA, R.A.V.; FURUSHO-GARCIA, I.F.; PEREIRA, I. G. Revista Brasileira de Zootecnia Economic analysis , performance , and feed efficiency in feedlot lambs. **Brazilian Journal of Animal Science**, 2017.

LIMA JÚNIOR, D. M., DO NASCIMENTO RANGEL, A. H., URBANO, S. A., & MORENO, G. M. B. Oxidação lipídica e qualidade da carne ovina. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 7, n. 1, p. 14–28, 2013.

LIU, Q.; LANARI, M. C.; SCHAEFER, D. M. A Review of Dietary Vitamin E Supplementation for Improvement of Beef Quality 1 , 2. n. March, p. 3131–3140, 1989.

LIU, Q.; SCHELLER, K. K.; SCHAEFER, D. M. Technical note: a simplified procedure for vitamin E determinatiom in beef muscle. **Journal of Animal Science**, v. 74, n. March, p. 2406–2410, 1996.

LIU, S. et al. A diurnal serum lipid integrates hepatic lipogenesis and peripheral fatty acid use. **Nature**, v. 502, n. 7472, p. 550–554, 2013.

LONG, N.M; BURNS, T. A. . ET AL. Palmitoleic Acid Infusion Alters Circulating Glucose and Insulin Levels. **Journal of Metabolic Syndrome**, v. 03, n. 03, p. 1–6, 2014.

LONG, N. M. et al. Effects of nutrient restriction of bovine dams during early gestation on postnatal growth and regulation of plasma glucose. **Journal of Animal Science**, v. 88, n. 10, p. 3262–3268, 2010.

LONG, N. M. et al. Growth and insulin dynamics in two generations of female offspring of mothers receiving a single course of synthetic glucocorticoids. **American Journal of Obstetrics and Gynecology**, v. 207, n. 3, p. 203.e1-203.e8, 2012.

LUCHIARI FILHO, A. **Pecuária da carne bonina**. 1^a ed. São Paulo-SP: [s.n.].

MACDONALD, M. L. E. et al. Absence of stearoyl-CoA desaturase-1 ameliorates features of the metabolic syndrome in LDLR-deficient mice. **Journal of Lipid Research**, v. 49, n. 1, p. 217–229, 2008.

MAEDLER, K., OBERHOLZER, J., BUCHER, P., SPINAS, G. A., & DONATH, M. Y. Monounsaturated fatty acids prevent the deleterious effects of palmitate and high glucose on human pancreatic β -cell turnover and function. **Diabetes**, v. 52, p. 726–733, 2003.

MAGUIRE, L. S. et al. Fatty acid profile, tocopherol, squalene and phytosterol content of walnuts, almonds, peanuts, hazelnuts and the macadamia nut. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 55, n. 3, p. 171–178, 2004.

MANNEN, H. Genes Associated with Fatty Acid Composition of Beef. **Food Sci. Technol. Res**, v. 18, n. 1, p. 1–6, 2012.

MAPIYE, C. et al. The trans-octadecenoic fatty acid profile of beef: Implications for global food and nutrition security. **Food Research International**, v. 76, n. P4, p. 992–1000, 2015.

MARGETÍN, M. et al. Fatty acids in intramuscular fat of Ile de France lambs in two different production systems. **Archives Animal Breeding**, v. 61, n. 4, p. 395–403, 2018.

MCDOWELL, L. R. et al. Vitamin E supplementation for the ruminant '. **Animal Feed Science Technology**, v. 60, n. 96, p. 273–296, 1996.

MESSANA, J. D. et al. Effects of different sources of forage in high-concentrate diets on fermentation parameters, ruminal biohydrogenation and microbiota in Nellore feedlot steers. **Journal of Agricultural Science**, v. 154, n. 5, p. 928–941, 2016.

MIAO, Z. G. et al. Invited review: Mesenchymal progenitor cells in intramuscular connective tissue development. **Animal**, v. 10, n. 1, p. 75–81, 2016.

MIWA, M. et al. Estimation of the energy expenditure of grazing ruminants by incorporating dynamic body acceleration into a conventional energy requirement system. **Journal of Animal Science**, v. 95, n. 2, p. 901–909, 2017.

MOODLEY, R.; KINDNESS, A.; JONNALAGADDA, S. B. Elemental composition and chemical characteristics of five edible nuts (almond, Brazil, pecan, macadamia and walnut) consumed in Southern Africa. **Journal of Environmental Science and Health - Part B**

Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes, v. 42, n. 5, p. 585–591, 2007.

MORAES, P. C. **EFEITOS DA DIETA E DA EFICIÊNCIA ALIMENTAR DE TOUROS JOVENS NELORE SOBRE A EXPRESSÃO GÊNICA E ACÚMULO INTRACELULAR DE LIPÍDEOS EM EMBRIÕES PRÉ-IMPLANTACIONAIS PRODUZIDOS IN VITRO**. [s.l.] UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO” FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS, 2018.

MOREAU, R.A. KAMAL-ELDIN, A. **Gourmet and health-promoting specialty oils**. [s.l: s.n.].

MORGAN-DAVIES, C. et al. Impacts of using a precision livestock system targeted approach in mountain sheep flocks. **Livestock Science**, v. 208, p. 67–76, 2018.

MORSE, N. Lipid-lowering and anti-inflammatory effects of palmitoleic acid: Evidence from preclinical and epidemiological studies. **Lipid Technology**, v. 27, n. 5, p. 107–111, 2015.

MUELA, E. et al. Sensory quality of lamb following long-term frozen storage. **Meat Science**, v. 114, p. 32–37, 2016.

NAVARRO, S. L. B.; RODRIGUES, C. E. C. Macadamia oil extraction methods and uses for the defatted meal byproduct. **Trends in Food Science and Technology**, v. 54, p. 148–154, 2016.

NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of dairy cattle**. [s.l: s.n.].

NRC, R. N. R. C. (US). **C. ON N. R. OF S. Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new**. [s.l: s.n.].

OLIVEIRA, D. M. et al. Expression of genes involved in lipid metabolism in the muscle of beef cattle fed soybean or rumen-protected fat, with or without monensin supplementation. **Journal of Animal Science**, v. 92, n. 12, p. 5426–5436, 2014.

OLIVEIRA, M. DE et al. Osório, J.C.S., Osório, M.T.M., Oliveira, N.R.M. et al. Estudo da variação do pH da carne em cordeiros Corriedale e Ideal criados em três sistemas alimentares. **PUBVET, Londrina**, V. 3, N. 10, Art#537, Mar3, 2009. 2009.

OLIVEIRA, P. P. A. et al. The effect of grazing system intensification on the growth and meat quality of beef cattle in the Brazilian Atlantic Forest biome. **Meat Science**, v. 139, n.

May 2017, p. 157–161, 2018.

OSAWA, C. C.; DE FELÍCIO, P. E.; GONÇALVES, L. A. G. Teste de TBA aplicado a carnes e derivados: Métodos tradicionais, modificados e alternativos. **Química Nova**, v. 28, n. 4, p. 655–663, 2005.

OSÓRIO, J.C.S.; OSÓRIO, M. T. M. Produção e Qualidade de Carne Ovina. In: SELAIVE-VILLARROEL, A.B.; OSÓRIO, J. C. S. (Ed.). . **Produção de Ovinos no Brasil**. 1ª edição ed. São Paulo-SP: [s.n.]. p. 399–445.

OSÓRIO, J. C. S.; OSÓRIO, M. T. M.; SAÑUDO, C. Sensorial characteristics of sheep meat Revista Brasileira de Zootecnia. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. July 2009, p. 292–300, 2009.

PAILLARD, D. et al. Relation between phylogenetic position, lipid metabolism and butyrate production by different Butyrivibrio-like bacteria from the rumen. **Antonie van Leeuwenhoek, International Journal of General and Molecular Microbiology**, v. 91, n. 4, p. 417–422, 2007.

PALMQUIST, D.L.; MATTOS, W. R. . Metabolismo de lipídios. In: **NUTRIÇÃO DE RUMINANTES**. 2. ed. Jaboticabal: [s.n.]. p. 299–321.

PARDI, M. C., DOS SANTOS, I. F., DE S. **Ciência, higiene e tecnologia da carne**. [s.l: s.n.].

PASSOS, M. E. P. et al. Differential effects of palmitoleic acid on human lymphocyte proliferation and function. **Lipids in Health and Disease**, v. 15, n. 1, p. 217, 2016.

PEARCE, K. L. et al. Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes - A review. **Meat Science**, v. 89, n. 2, p. 111–124, 2011.

PEDROSO, A.M.; DANÉS, M. D. A. C. **Suplementos concentrados como ferramenta estratégica em sistemas intensivos de produção de leite em pastagens**. (F. H. M. EVANGELISTA, A.R.; BERNADES, T.F.; CHIZZOTTI, Ed.)As forrageiras e suas relações com o solo, ambiente e o animal. **Anais...**Lavras-MG: 2011

PETTY, J. D.; HUCKINS, J. N.; DAVID, A. **MACADAMALPD BASED SURFACTANTS AND DERIVATIVES AND PROCESS FOR PREPARING SAME BACKGROUND**, 2002.

PHATANAYINDEE, S. et al. Changes of Chemical and Physical Quality Attributes of Macadamia Nuts during Hybrid Drying and Processing. **Drying Technology**, v. 30, n. 16, p. 1870–1880, 2012.

PIMENTEL, L. D. A cultura da macadâmia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 3, p. 414–716, 2007.

PONNAMPALAM, E. N. et al. Causes and Contributing Factors to “Dark Cutting” Meat: Current Trends and Future Directions: A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 16, n. 3, p. 400–430, 2017.

QUEIROZ, JEAN CÉSAR FARIAS , ALONSO-VALE, M. I. C. ET AL. Controle da adipogênese por ácidos graxos. n. 1, 2009.

REINER, Ž.; LOND, F. Triglyceride-Rich Lipoproteins and Novel Targets for Anti-atherosclerotic Therapy. v. 48, n. 12, p. 1097–1119, 2018.

RENAVILLE, B. et al. Eicosapentaenoic acid and 3,10 dithia stearic acid inhibit the desaturation of trans-vaccenic acid into cis-9, trans-11-conjugated linoleic acid through different pathways in Caco-2 and T84 cells. **British Journal of Nutrition**, v. 95, n. 4, p. 688–695, 2006.

RICOULT, S. J. H. et al. Sterol Regulatory Element Binding Protein Regulates the Expression and Metabolic Functions of Wild-Type and Oncogenic IDH1. **Molecular and Cellular Biology**, v. 36, n. 18, p. MCB.00163-16, 2016.

RIMBACH, G. et al. Gene-regulatory activity of α -tocopherol. **Molecules**, v. 15, n. 3, p. 1746–1761, 2010.

RIPOLL, G. et al. Effects of finishing period length with vitamin E supplementation and alfalfa grazing on carcass color and the evolution of meat color and the lipid oxidation of light lambs. **Meat Science**, v. 93, n. 4, p. 906–913, 2013.

SAINSBURY, J.; SCHÖNFELDT, H. C.; VAN HEERDEN, S. M. The nutrient composition of South African mutton. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, n. 4–5, p. 720–726, 2011.

SAKAI, J. et al. Sterol-regulated release of SREBP-2 from cell membranes requires two sequential cleavages, one within a transmembrane segment. **Cell**, v. 85, n. 7, p. 1037–1046, 1996.

SAMPATH, H.; NTAMBI, J. M. Stearoyl coenzyme A desaturase 1, sterol regulatory element binding protein 1c and peroxisome proliferator-activated receptor alpha: independent and interactive roles in the regulation of lipid metabolism. **Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care**, v. 9, n. 2, p. 84–88, 2006.

SAÑUDO, C. et al. Carcass and meat quality in light lambs from different fat classes in the EU carcass classification system. **Meat Science**, v. 56, n. 1, p. 89–94, 2000a.

SAÑUDO, C. et al. Fatty acid composition and sensory characteristics of lamb carcasses from Britain and Spain. **Meat Science**, v. 54, n. 4, p. 339–346, 2000b.

SAÑUDO, C.; MUELA, E.; DEL MAR CAMPO, M. Key factors involved in lamb quality from farm to fork in Europe. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 12, n. 11, p. 1919–1930, 2013.

SASSA, T.; KIHARA, A. Metabolism of very long-chain fatty acids: Genes and pathophysiology. **Biomolecules and Therapeutics**, v. 22, n. 2, p. 83–92, 2014.

SBRISSIA, A. F. et al. Animal production on cultivated pasturelands in regions of temperate climate of Latin America. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, v. 25(1):2017, n. January, 2017.

SCOLLAN, N. D. et al. Can we improve the nutritional quality of meat? **Proceedings of the Nutrition Society**, n. July 2015, p. 1–16, 2017.

SHINGFIELD, K. J.; BONNET, M.; SCOLLAN, N. D. Recent developments in altering the fatty acid composition of ruminant-derived foods. **Animal**, v. 7, n. s1, p. 132–162, 2013.

SHORLAND, F. B. et al. Influence of pasture species on the flavour, odour and keeping quality of lamb and mutton. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 21, n. 1, p. 1–4, 1970.

SILVA, VIVIAN LARA DOS SANTOS; CARRER, CELSO DA COSTA; MACHADO, A. A. Análise econômica e de mercado das alternativas para a estruturação do fluxo de distribuição da cadeia da carne ovina. In: **A Cadeia de negócios da ovinocultura de corte paulista: diagnóstico de pontos críticos e proposta de estruturação técnica e mercadológica**. [s.l: s.n.].

SINGH, P.; SINGH, T. PAL; GANDHI, N. Prevention of lipid oxidation in muscle foods by milk proteins and peptides: A review. **Food Reviews International**, v. 9129, n.

November, p. 1–22, 2016.

SNA, S. N. DE A. **Produção de carne ovina pode ser mais rentável que a bovina.** Disponível em: <<http://sna.agr.br/producao-de-carne-ovina-pode-ser-mais-rentavel-que-a-bovina/>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

SOKOŁA-WYSOCZAŃSKA, E. et al. Polyunsaturated Fatty Acids and Their Potential Therapeutic Role in Cardiovascular System Disorders—A Review. **Nutrients**, v. 10, n. 10, p. 1561, 2018.

SOUZA, C. O. et al. Palmitoleic acid reduces the inflammation in LPS-stimulated macrophages by inhibition of NFκB, independently of PPARs. **Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology**, v. 44, n. 5, p. 566–575, 2017.

SOUZA, C. O. et al. Is Palmitoleic Acid a Plausible Nonpharmacological Strategy to Prevent or Control Chronic Metabolic and Inflammatory Disorders? **Molecular Nutrition and Food Research**, v. 62, n. 1, p. 1–12, 2018.

SOUZA, D. D. A. **O Uruguai e a carne ovina.** Disponível em: <<https://www.milkpoint.com.br/artigos/producao/o-uruguai-e-a-carne-ovina-45429n.aspx>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

SOUZA, D. D. A. **Atualidades e perspectivas para o mercado doméstico da carne ovina.** Disponível em: <<https://www.milkpoint.com.br/artigos/producao/atualidades-e-perspectivas-para-o-mercado-domestico-da-carne-ovina-95894n.aspx>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

SOUZA, J. DE. **U Fontes de gordura alteram o desempenho e o metabolismo de vacas mantidas em pastagens tropicais.** [s.l.] ESALQ, 2014.

SUN, W. et al. The effect of feeding soyabeans with different particle size on the content of conjugated linoleic acid and other fatty acids of <i>longissimus dorsi</i> muscle, backfat and liver of beef cattle. **Journal of Animal and Feed Sciences**, v. 18, n. 3, p. 388–398, 2009.

TURNER, K. E. et al. Alpha-tocopherol concentrations and case life of lamb muscle as influenced by concentrate or pasture finishing. **Journal of Animal Science**, v. 80, n. 10, p. 2513–2521, 2002.

ULBRICHT, T. L. V.; SOUTHGATE, D. A. T. Coronary heart disease: seven dietary factors. **The Lancet**, v. 338, p. 985–992, 1991.

VASTA, V. et al. Volatile compound profile of ewe's milk and meat of their suckling lambs in relation to pasture vs. indoor feeding system. **Small Ruminant Research**, v. 105, n. 1–3, p. 16–21, 2012.

VAZ, R. Z. et al. Produtividade e eficiência de produção de vacas de diferentes grupos genéticos submetidas a pastagens cultivadas no pré ou pós-parto. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 5, p. 2697–2708, 2014.

VENKATACHALAN, M.; SATHE, S. K. Chemical composition of selected edible nut seeds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 13, p. 4705–4714, 2006.

VIANA, J. G. A.; MORAES, M. R. E. DE; DORNELES, J. P. Dinâmica das importações de carne ovina no Brasil: análise dos componentes temporais. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 3Supl1, p. 2223, 2015.

WALKER, C. G. et al. The pattern of fatty acids displaced by EPA and DHA following 12 months supplementation varies between blood cell and plasma fractions. **Nutrients**, v. 7, n. 8, p. 6281–6293, 2015.

WANG, B. et al. Effects of feeding regimens on meat quality, fatty acid composition and metabolism as related to gene expression in Chinese Sunit sheep. **Small Ruminant Research**, v. 169, n. June 2017, p. 127–133, 2018.

WANG, X. et al. SREBP-1, a membrane-bound transcription factor released by sterol-regulated proteolysis. **Cell**, v. 77, n. 1, p. 53–62, 1994.

WANG, Y. et al. Regulation of hepatic fatty acid elongase and desaturase expression in diabetes and obesity. **Journal of Lipid Research**, v. 47, n. 9, p. 2028–2041, 2006.

WARD, R. E. et al. Relationship between the expression of key lipogenic enzymes, fatty acid composition, and intramuscular fat content of Limousin and Aberdeen Angus cattle. **Livestock Science**, v. 127, n. 1, p. 22–29, 2010.

WATERS, S. M. et al. Effect of level and duration of dietary n-3 polyunsaturated fatty acid supplementation on the transcriptional regulation of Δ^9 -desaturase in muscle of beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 87, n. 1, p. 244–252, 2009.

WATKINS, P. J. et al. Sheepmeat flavor and the effect of different feeding systems: A review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 15, p. 3561–3579, 2013.

WERNER OMAZIC, A. et al. The fate of glycerol entering the rumen of dairy cows

and sheep. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 99, n. 2, p. 258–264, 2015.

WHEATLEY, R. Some recent trends in the analytical chemistry of lipid peroxidation. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 19, n. 10, p. 617–628, 2000.

WONGWATHANARAT, P. et al. Two fatty acid delta9-desaturase genes, *ole1* and *ole2*, from *Mortierella alpina* complement the yeast *ole1* mutation. **Microbiology**, v. 145 (Pt 1, n. 1999, p. 2939–2946, 1999.

WOOD, J. D. et al. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. **Meat Science**, v. 78, n. 4, p. 343–358, 2008.

XIONG, Z. et al. Recent developments of hyperspectral imaging systems and their applications in detecting quality attributes of red meats : A review. **JOURNAL OF FOOD ENGINEERING**, v. 132, p. 1–13, 2014.

YANG, Z. H.; TAKEO, J.; KATAYAMA, M. Oral administration of omega-7 palmitoleic acid induces satiety and the release of appetite-related hormones in male rats. **Appetite**, v. 65, p. 1–7, 2013.

YANG, Z.; MIYAHARA, H.; HATANAKA, A. Chronic administration of palmitoleic acid reduces insulin resistance and hepatic lipid accumulation in KK-A y Mice with genetic type 2 diabetes. **Lipids in Health and Disease**, v. 10, n. 1, p. 120, 2011.

ZHANG, H. B. et al. Effects of different levels of protein supplementary diet on gene expressions related to intramuscular deposition in early-weaned yaks. **Animal science journal = Nihon chikusan Gakkaihō**, v. 85, n. 4, p. 411–419, 2014.

ZHU, J. et al. RNA-seq transcriptome analysis of extensor digitorum longus and soleus muscles in large white pigs. **Molecular Genetics and Genomics**, v. 291, n. 2, p. 687–701, 2016.

ZINN, R. A.; JORQUERA, A. P. Feed Value of Supplemental Fats Used in Feedlot Cattle Diets. **Veterinary Clinics of North America - Food Animal Practice**, v. 23, n. 2, p. 247–268, 2007.

SEGUNDA PARTE

ARTIGO

Óleo de Macadâmia e vitamina E para cordeiros: qualidade da carne e perfil de ácidos graxos e expressão gênica

Artigo formatado de acordo com as diretrizes da revista Meat Science

(Versão preliminar em português)

Óleo de Macadâmia e vitamina E para cordeiros: qualidade da carne e perfil de ácidos graxos e expressão gênica

RESUMO: Esse estudo investigou os efeitos da suplementação com óleo de Macadâmia (OM) e vitamina E, em cordeiros criados em diferentes sistemas de manejo sobre a qualidade físico-química e sensorial da carne, o perfil de ácidos graxos e a expressão gênica. Sessenta cordeiros (n=10) foram divididos em fatorial 2x3, dois sistemas de manejo, confinado e a pasto, contendo três suplementos experimentais (controle; com OM; e com OM + vitamina E. A gordura da carne aumentou em 31% nos animais confinados, e 20% nos animais que receberam OM, independente da presença de vitamina E ($P < 0,05$). Os animais manejados a pasto melhoraram a proporção de ácidos graxos poli-insaturados (PUFA) ômega 3 (n3) e reduziram o índice de aterogenicidade na carne ($P < 0,05$). A suplementação com OM, com ou sem vitamina E, aumentou a quantidade (mg/100g) de PUFA n3, porém também aumentou os ácidos graxos C14:0, C16:0 e C18:0 ($P < 0,05$). A suplementação com OM e vitamina E aumentou a proporção de C18:3 n3 no músculo e proporcionou melhoria no sabor da carne ($P > 0,05$). O uso de OM sem vitamina E melhorou os parâmetros de textura e impressão global da carne ($P < 0,05$). Os suplementos contendo óleo de Macadâmia e vitamina E aumentaram a expressão dos gene SCD-1 e ELOVL6 ($P < 0,05$).

Palavras chave: lipídeos, lipogênese, palmitolêico, qualidade da carne, ovinos, vitamina E.

1. INTRODUÇÃO

Pesquisas em diferentes sistemas de manejo associadas a suplementação com fontes lipídicas buscam manipular de forma benéfica as características químico-físicas e o perfil de ácidos graxos na carne de cordeiro. De forma geral estratégias que associam manejo e nutrição visam produzir carnes com melhor aceitabilidade sensorial e aumento principalmente de ácidos graxos poli-insaturados, os quais promovem para melhor saúde do homem (Chikwanha et al., 2018; Margetín et al., 2018).

Dentre as várias fontes de óleo vegetal para a alimentação de ruminantes o óleo de Macadâmia contém grandes proporções de ácido palmitoleico (Maro et al., 2012; Navarro & Rodrigues, 2016). O qual encontra-se associado a melhora da sensibilidade dos tecidos a insulina, redução da síntese de ácidos graxos e consequentemente redução da hipertrofia e hiperplasia nos adipócitos (Burns et al., 2012; Duckett et al., 2014). Os mecanismos fisiológicos influenciados pelo palmitoleico estão diretamente ligados a indução ou inibição da expressão de genes específicos, os quais podem potencializar ou restringir a síntese e atividade de enzimas envolvidas no metabolismo lipídico (Souza et al., 2018). Além disso, o ácido palmitoleico melhora as proporções de ácidos graxos poli-insaturados na carne de ovinos, principalmente o C20:5 n3 (EPA) e C22:5 n3 (DPA), considerados essenciais para melhor qualidade de vida do homem (Duckett et al., 2014).

Ácidos graxos poli-insaturados são mais susceptíveis a oxidação, reduzindo a qualidade da carne em seu aspecto nutricional. Porém, a vitamina E suplementada e armazenada nos tecidos pode reduzir a oxidação lipídica e melhorar a preservação dos ácidos graxos poli-insaturados na carne (Brito et al., 2017; Chauhan et al., 2016). Além disso, os efeitos do palmitoleico sobre o metabolismo, supostamente podem influenciar as características físico-química e sensoriais, o perfil de ácidos graxos da carne e a expressão de genes ligados ao metabolismo lipídico de cordeiros criados em diferentes sistemas de manejo.

O presente estudo teve como objetivo avaliar as características físico-químicas e sensoriais, o perfil de ácidos graxos e a oxidação lipídica da carne, associado à expressão de genes ligados ao metabolismo lipídico, de cordeiros manejados em dois sistemas de manejo (confinamento e a pastagem) suplementados com óleo de Macadâmia e Vitamina E.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Local do experimento

O experimento foi conduzido no Setor de Ovinos do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras (UFLA) em Lavras, Brasil (21°13'38" S, Cwa mesotérmico úmido subtropical de inverno seco), temperatura média 20,3 °C e pluviosidade média de 1461,8 mm. Todos os procedimentos foram conduzidos de acordo com as diretrizes estabelecidas pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da UFLA, sob o número de protocolo 063/16.

2.2. Animais e alimentação

Foram utilizados 60 cordeiros, F1 ½ Santa Inês × Dorper, com idade média de 68 ± 13 dias e peso inicial médio de $22,56 \pm 2,721$ kg, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 2x3 (2 Sistemas de Manejo e 3 Suplementos) compondo os seguintes tratamentos (n=10): Cordeiros confinados alimentados com suplemento controle (CC); Cordeiros confinados com suplementos contendo óleo de Macadâmia (OMC); Cordeiros confinados com suplementos contendo óleo de Macadâmia e Vitamina E (OMEC); Cordeiros em pastagem alimentados com suplemento controle (CP); Cordeiros em pastagem com suplementos contendo óleo de Macadâmia (OMP); e Cordeiros em pastagem com suplementos contendo óleo de Macadâmia e Vitamina E (OMEPE).

Os animais passaram por 15 dias de adaptação às instalações, dietas e manejo diário. No início do período de adaptação todos os cordeiros foram desverminados e posteriormente quando o exame de OPG quinzenal ultrapassava a contagem de 500 ovos por gramas de fezes.

Os cordeiros confinados foram mantidos em galpão com gaiolas individuais de 1,3 m², contendo comedouro e bebedouro. Os cordeiros manejados em pastagem foram mantidos em pastagem de Tifton-85 (*Cynodon sp.*) das 07:00 h as 18:00 h e posteriormente eram conduzidos para o mesmo galpão, contendo gaiolas individuais. Os suplementos quando somados às fontes forrageiras, permitiam atender os requisitos de manutenção e ganho diário de 300 g (Tabela 1), de acordo com o National Research Council NRC (2007). O óleo de Macadâmia, quando utilizado, foi ajustado quinzenalmente de acordo com o peso vivo dos animais, sendo fornecido na proporção de 0,1% do peso vivo diariamente. A vitamina E, quando utilizada, foi adicionada na proporção de 0,05% da MS seca total da dieta.

Tabela 1. Composição de ingredientes e dos nutrientes nos suplementos.

<i>Ingredientes</i>	Suplementos (%MS) ¹					
	CC	OMC	OMEC	CP	OMP	OMEPE
Farelo de Soja	55,50	58,40	58,37	86,72	85,86	85,81
Milho moído	41,08	33,28	33,25	9,92	2,76	2,76
Óleo de Macadâmia	-	5,13	5,13	-	8,17	8,17
Núcleo mineral	3,08	2,84	2,84	2,78	2,66	2,66
Fosfato Bicalcico	0,33	0,35	0,35	0,58	0,55	0,55
Vitamina E	-	-	0,05	-	-	0,05
<i>Nutrientes</i>						
MS	95,09	94,99	95,19	95,22	95,05	95,20
PB	29,67	30,33	30,33	41,91	40,52	40,52
EE	2,65	7,50	7,50	1,79	9,67	9,67
EM (Mcal/kg)	2,98	3,04	3,04	2,92	3,02	3,02
FDN	12,02	11,76	11,76	12,98	9,29	9,29
Cinzas	6,15	6,67	6,57	5,49	5,96	6,03

¹ Suplementos: CC (Controle Confinado), OMC (óleo de Macadâmia Confinado), OMEC (óleo de Macadâmia + vitamina E Confinado), CP (Controle a Pasto), OMP (óleo de Macadâmia a Pasto) OMEPE (óleo de Macadâmia + vitamina E a Pasto).

Tabela 2. Consumo médio de nutrientes (g/dia) estimado para a dieta total em cada tratamento, de acordo com as exigências do NRC (2007) para cordeiros de 30 kg, com 300 g/dia de ganho de peso. Composição nutricional das forragens e perfil de ácidos graxos (%) da dieta total e do óleo de Macadâmia.

<i>Nutrientes</i>	Tratamentos ¹						Feno Tifto -85 (%)	Pastagem Tifton-85 (%)
	CC	OMC	OMEC	CP	OMP	OMEPE		
PB (g/dia)	0,211	0,215	0,215	0,184	0,184	0,184	9,00	7,00
EM (g/dia)	2,383	2,42	2,42	2,079	2,132	2,132	1,24	1,00
EE (g/dia)	0,02	0,051	0,051	0,012	0,04	0,04	2,00	2,00
Ácidos Graxos (%)								
							Óleo de Macadâmia	
C 14:0	0,18	0,23	0,22	0,27	0,33	0,33	1,95	
C 16:0	2,87	2,94	2,92	5,05	5,07	5,12	3,191	
c9-C16:1	0,19	1,11	1,13	0,73	1,45	1,43	22,777	
C18:0	3,43	3,92	3,97	0,92	1,31	1,31	11,981	
C18:1 c9	26,19	28,07	27,26	10,87	12,75	11,96	40,157	
C 18:2 n-6	41,51	42,44	43,08	32,01	31,97	31,76	7,618	
C 18:3 n-3	0,24	0,23	0,03	21,27	21,26	21,29	0,598	

¹ Tratamentos: CC (Controle Confinado), OMC (óleo de Macadâmia Confinado), OMEC (óleo de Macadâmia + vitamina E Confinado), CP (Controle a Pasto), OMP (óleo de Macadâmia a Pasto) OMEPE (óleo de Macadâmia + vitamina E a Pasto).

Os cordeiros confinados foram alimentados duas vezes ao dia 08:00 e as 16:00 horas. No período da manhã era fornido 40% da dieta total mais o óleo, já no período da tarde era colocado o restante da dieta total (60%) sem a inclusão do óleo. Diariamente a quantidade fornecida e as sobras foram pesadas, prevendo uma sobra diária de 15% permitindo o consumo *ad libitum* e evitando a seletividade.

Os cordeiros manejados em pastagem foram suplementados no final da tarde quando eram fechados individualmente, recebendo as seguintes quantidades de suplemento com ou sem óleo: suplemento controle: 0,365 g/dia; suplemento com óleo de Macadâmia: 0,385g/dia + óleo; e suplemento com óleo de Macadâmia + vitamina E: 0,385 g/dia + óleo.

A composição química das dietas foi calculada a partir de uma amostra composta de cada ingrediente utilizado durante todo período experimental. Para estimar o consumo de matéria seca (MS) e extrato etéreo (EE) foram coletadas amostras diárias das sobras durante a última semana experimental, as quais formaram uma composta por animal para avaliação do consumo de EE. Dos ingredientes foi determinada a concentração MS por secagem a 100 ° C por 24 h. A concentração de proteína bruta foi determinada pelo método micro Kjeldahl (método 984.13; AOAC International, 2012), cinzas por incineração a 550 ° C por 8 h, a FDN livre de cinzas por filtração em cadinhos porosos com α -amilase termoestável (Van Soest et al., 1991) e o extrato etéreo (EE) como na AOAC International (método 920.39; AOAC International, 2012). Para as amostras das sobras foi quantificado apenas a concentração de MS e EE.

Para avaliar o consumo de forragem dos cordeiros em sistema de pastejo utilizou-se o dióxido de titânio (TiO₂) como indicador externo de acordo com a metodologia descrita por Willians et al. (1962). Foi fornecido 4g de TiO₂ diariamente durante os últimos 12 dias de experimento, sendo sete dias de adaptação e cinco dias de coleta de fezes, alimentos e sobras. O teor de TiO₂ nas fezes foi determinado segundo Myers et al.(2004) e para estimativa do consumo de forragem foi utilizada o FDNi (Valente et al., 2011), calculado o consumo através da equação: $CMS_{forragem(kg/dia)} = (produção_{fecal} \times FDNi_{fezes}) / FDNi_{forragem}$.

2.3. Abate e coleta de amostras

Após 60 dias de período experimental, os cordeiros foram transportados até um frigorífico comercial (130 km), onde foram estabulados por 16 horas restritos de dieta sólida e posteriormente abatidos. Os cordeiros foram abatidos após insensibilização por concussão e exsanguinação através do corte da veia jugular, seguida de remoção do couro e evisceração. Após esses procedimentos, amostras foram retiradas do músculo *Longissimus lumborum* da meia-carcaça direita na altura da 13ª costela. Todos os instrumentos utilizados para coleta de tecido eram estéreis. As amostras musculares foram armazenadas em tubos criogênicos de 2,5 mL e imediatamente congeladas e transportadas em nitrogênio líquido e posteriormente armazenadas a -80 ° C para análise da expressão gênica.

Após o abate as carcaças foram mantidas em câmara fria (4 a 6° C) durante 24 horas. Após retirada da câmara fria e transporte das carcaças, por 3 horas, em caminhão refrigerado na mesma temperatura, os músculos *Longissimus lumborum* esquerdo e direito foram retirados da carcaça, envolvidos em papel alumínio, embalados a vácuo e armazenados em freezer a -20°C. Do *Longissimus lumborum* esquerdo foram realizadas as análises de qualidade da carne, perfil de ácidos graxos, composição centesimal e TBARS. Já o *Longissimus lumborum* direito foi destinado a avaliação sensorial.

2.4. Qualidade da carne

O pH da carne foi tomado utilizando o pHmetro TESTO-205 (Testo, Campinas, Brasil) após o abate pH (0h) e 24h após resfriamento em câmara fria + 3 horas de transporte.

Para análise da qualidade da carne, primeiramente as amostras de *Longissimus lumborum* esquerdo foram seccionadas em bifês de 2,5 cm, pesadas e posteriormente descongeladas a 2 °C durante 12 horas. Após descongeladas as mesmas foram pesadas novamente obtendo o peso após o descongelamento, sendo a diferença do peso congelado e o peso descongelado a perda por descongelamento.

A determinação da cor foi realizada utilizando-se o equipamento Minolta CR700 Chroma Meter (Konica Minolta, Osaka, Japão) de acordo com o sistema CIELAB, em que L* luminosidade, a* vermelho e b* amarelo, foi utilizado o iluminante A e 10° para observador padrão (Houben et al., 2000).

Para perda de peso por cozimento os bifês foram pesados e cozidos de acordo com Fabre et al. (2018). Quando a temperatura interna for atingida (71°C) as amostras foram

arrefecidas e pesadas novamente. As perdas por cozimento foram medidas como a diferença entre os pesos inicial e final das amostras cozidas.

Após cozidas e pesadas, foram tomadas subamostras de 1cm² em paralelo à direção das fibras musculares, excluindo o tecido conjuntivo e a gordura. A resistência ao cisalhamento foi determinada utilizando o equipamento de análise de textura TA-TX2, ligado ao dispositivo Warner-Bratzler que mediu a resistência ao cisalhamento da amostra em kgf, cortado perpendicularmente as subamostras na direção das fibras musculares com velocidade ajustada de 200mm/min.

A capacidade de retenção de água (CRA) foi calculada utilizando a metodologia descrita por Hamm (1960). Os resultados foram expressos em percentagem relativa ao peso inicial, a partir da seguinte fórmula: $CRA = ACP / (ACP + ATE)$, em que ACP = área de carne prensada e ATE área total de exsudado.

As substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) foi determinado de acordo com a metodologia de Tarladgis, Watts e Yonathan (1960). A leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro com absorbância de 530 nm. O valor de TBARS foi expresso em mg de malonaldeído/kg de carne, o qual foi obtido multiplicando-se a absorbância obtida por 7,8.

2.5. Composição da carne, perfil de ácidos graxos e atividade enzimática

Para a determinação da composição centesimal, foram tomadas 100g do músculo *Longissimus lumborum* isento da capa de gordura. As amostra foram homogeneizadas em multiprocessador até a obtenção de uma massa homogênea. Posteriormente foram analisadas por meio de infravermelho próximo (método AOAC: 2007-04) utilizando aparelho FoodScanTM (FOSS, Hillerod, Dinamarca).

Para o perfil de ácidos graxos a extração dos lipídeos do músculo foi realizada de acordo com Folch et al. (1957) e metiladas segundo Hara et al. (1978). As amostras trasmetiladas foram analisadas em cromatógrafo a gás modelo Focus CG-Finnigan com detector de ionização de chama e coluna capilar CP-Sill 88 (100m x 0,25mm x 0,20 μm; Supelco Inc., Bellefonte, PA) de acordo com o procedimento descrito por Delmonte et al. (2011). A porcentagem de cada ácido graxo (%AG) foi obtida a partir da seguinte equação: $\%AG = (\text{área individual do AG}) \times 100 / \text{área total dos AG}$. A análise quantitativa

(mg/100g músculo) do perfil de ácidos graxos foi calculada a partir dos resultados em percentagem utilizando um fator de correção de 0,919 (CLAYTON, 2014) a partir da seguinte equação:

$$mg / 100g \text{ de músculo} = \text{conteúdo lipídico total (g / 100g)} \times 0,919 \times (\% \text{ AG} / 100) \times 1000$$

As atividades das enzimas Δ^9 -dessaturase e elongases foram determinadas conforme descrito por Malau-Aduli et al. (1997). Os índices de aterogenicidade e trombogenicidade foram estimados de acordo com (Ulbricht & Southgate, 1991).

2.6. Análise sensorial da carne

Para realizar a análise sensorial, o projeto foi previamente aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Lavras (CEP - UFLA) processo N.º. 2.984.593, CAAE N.º. 99920918.7.0000.5148, seguindo a Resolução do Conselho Nacional de Saúde 196/96.

Foram utilizados 18 lombos (*Longissimus lumborum*) sendo 3 de cada tratamento. Antes de serem grelhados os lombos foram pesados e foi adicionado 1% de sal em relação ao seu peso. Os lombos foram grelhados em grill (SFSE Croydon) a 250°C até que atingissem 70°C internamente e posteriormente foram cortados em cubos de 12 a 15 g segundo Abreu et al. (2018). Foram convidados 55 consumidores inexperientes, sendo 25 homens e 30 mulheres (com idade entre 18 e 60 anos), que foram orientados quanto ao procedimento do teste de aceitação e preenchimento das respostas antes de iniciar a avaliação. Nas câmaras individuais estavam disponíveis, para cada avaliador, amostras em forma aleatória em placas de plástico branco, codificadas com três dígitos distintos. Para avaliar os atributos de aceitação global, textura, suculência e sabor característico, utilizou-se uma escala hedônica de nove pontos: 1- desgostei extremamente; 2- desgostei muito; 3- desgostei moderadamente; 4- desgostei ligeiramente; 5- nem gostei/nem desgostei; 6- gostei ligeiramente; 7- gostei moderadamente; 8- gostei muito e 9- gostei extremamente. Para remover o sabor residual entre as amostras, foi servida água mineral à temperatura ambiente.

2.7. Expressão gênica

Os genes estudados foram fator de transcrição de proteínas ligantes aos esteroides -1c (SREBP-1c), receptor ativado por proliferadores de peroxissoma α (PPAR- α), esteroil-CoA dessaturase (SCD-1) e elongase 6 (ELOVL6).

O desenho dos primers alvos e de referência foram realizados pelas sequências cadastradas e publicadas no banco de dados público do *Genbank*, plataforma da NCBI (*National Center for Biotechnology Information*). Para a caracterização dos genes as OFRs (Open Reading Frames) das sequências selecionadas foram obtidas pela ferramenta *ORFinder* do NCBI, encontrada no banco de proteínas codificadas obtidas a partir da ferramenta *translate*, encontrada no banco de proteínas ExPASy (BIOINFORMATICS RESOURCE PORTAL, 2013). A sequência dos primers foi desenhada utilizando o *software* Oligo Perfect™ Designer, considerando as sequências obtidas no *Genbank*. Os primers para ao PCR em tempo real (RT-qPCR) serão comercialmente sintetizados (Invitrogen, Carlsbad, CA, USA) (Tabela 3).

Tabela 3. Sequência (5' a 3') e eficiências dos primers usados na PCR quantitativa em tempo real.

Símbolo	Forward (F) and reverse (R)	Nº acesso	Amplificon (bp)	R ²	Eficiência
SREBP1	F CTGCTATGCAGGCAGCAC R GGTGATGGGCAGCTTGT	KF360085.2	99	0,99	1,94
PPARA	F GAAGACCAACAACAATCCGCC R AAGTCCAAGCTTGCAAACCC	XM_012175774	213	0,99	1,94
SCD1	F CGACGTGGCTTTTTCTTCTC R GATGAAGCACAACAGCAGGA	NM_001009254.1	124	0,99	1,94
ELOVL6	F AGTGGATGCAGGAAAAGTGG R AAGGGTCAGAGACCAGAGCA	XM_012179510.2	89	0,99	1,94
β -actin	F GGACCTGACGGACTACCTCATG R GGCCATCTCCTGCTCGAAGT	JN033788.1	136	0,99	1,96

O RNA total foi extraído de 100g do músculo *Longissimus lumborum* utilizando QIAzol (QIAGEN, Valencia, CA) e tratado com DNA-free DNAase (Ambion, Austin, TX) de acordo com as instruções do fabricante. Para analisar as bandas de RNAr 28S e 18S, o RNA total foi submetido à eletroforese em gel de agarose a 1,0% (m / v), corado com GelRed (Biotium, Hayward, CA) e visualizado com um XR D-77Ls UVItec FireReader -20 M (UVItec, Cambridge, Reino Unido). A quantidade de RNA (ng / mL) e a qualidade (260/280 e 260/230) foram avaliadas usando um espectrofotômetro (NanoDrop Spectrophotometer ND-1000, Thermo Scientific, Wilmington, DE) a 260 nm. A síntese de cDNA foi realizada usando o Kit de Transcrição Reversa HighCapacity cDNA (Applied Biosystems, Foster City, CA) de acordo com as instruções do fabricante, e as amostras foram armazenadas a -20 ° C. Um sistema de

PCR em tempo real ABI PRISM 7500 (Applied Biosystems) foi utilizado com um sistema de detecção SYBR Green (Applied Biosystems) para análise quantitativa da expressão gênica por PCR quantitativa de transcrição reversa (RT-qPCR). O programa RT-qPCR utilizado foi o seguinte: 50 durante 2 min, 95 durante 10 min, 40 ciclos com 95 durante 15 s, 60 durante 1 min e 95 durante 15 s. Os dados foram coletados e armazenados usando o Software Os 7500 Fast (Versão 2.1; Applied Biosystems).

Para cada reação, 1,0 µL de cDNA (10 ng / µL), 0,3 µL de cada primer (forward e reverse) e 5,0 µL de SYBR Green Master Mix foram combinados em um volume final de 10,0 µL por amostra. - placa MicroAmp Optical (Applied Biosystems). Os resultados foram normalizados usando CTs (Ciclo *Threshold*) para a expressão do gene de referência β-actina. O CT foi determinado pelo número total de ciclos usando o método comparativo de CT. Um ensaio de validação foi realizado para demonstrar que as eficiências de amplificação dos genes alvo e de referência eram aproximadamente equivalentes. Curvas padrão foram geradas para os genes estudados com as seguintes diluições: 1:5, 1:25, 1:125, 1:625 e 1:3125. Níveis de expressão relativa foram calculados de acordo com o método descrito por Pfaffl (2001), que é baseado em valores de CT que são corrigidos para a eficiência de amplificação de cada par de primers.

2.8. Análise estatística

O teste de Shapiro-Wilk ($P > 0,05$) foi realizado para avaliar a normalidade de todos os dados coletados. Quando os dados não foram normalmente distribuídos, eles foram transformados para \log_{10} , somente os dados de expressão gênica foram transformados utilizando a função exponencial.

O modelo estatístico considerou o sistema de manejo, suplementos experimentais e a interação sistema de manejo*suplementos experimentais como efeitos fixos e animais como efeito aleatório. O peso inicial (PI) e a idade inicial (ID) foram utilizados como covariável para todas as variáveis.

$$y_{ijk} = \mu + b_1PI + b_2ID + MAN_i + SUP_j + MAN^*SUP_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Em que y_{ijk} representa o valor observado para cada variável; μ é uma constante geral presente em todas as observações; MAN_i é o efeito de sistema de manejo i ; SUP_j é o efeito de

suplemento, MAN*SUP é o efeito da interação entre sistema de manejo i e o suplemento j ; e ε_{ijk} é o erro associado a cada observação.

Os dados foram analisados utilizando o PROC GLM do SAS 9.4 (SAS Inst. Inc., Cary, NC) avaliando-se primeiro em análise de variância a significância dos efeitos. Havendo interação significativa (5% de probabilidade do erro tipo III) procedeu-se o desdobramento da interação aplicando teste T ($P < 0,05$) para comparar sistema de manejo e suplementos experimentais. Ao final do período experimental duas parcelas foram perdidas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Consumo e desempenho

Observou-se interação significativa para o consumo de matéria seca (CMS) ($P < 0,05$) e o consumo de energia metabolizável estimada (CEM) ($P < 0,05$) entre as dietas experimentais e os dois sistemas de manejo (Tabela 5). Os resultados obtidos mostram que a suplementação com óleo de Macadâmia reduziu em 15% ($P < 0,05$) o CMS de cordeiros manejados em confinamento. Associado ao menor CMS, também houve efeito ($P < 0,05$) do óleo sobre o CEM. No entanto, é importante destacar que o menor CEM não influenciou negativamente o ganho de peso (GPD) ($P > 0,05$) e peso de abate ($P < 0,05$) (Tabela 4). Pelo contrário, a suplementação com óleo parece potencializar o aproveitamento da energia ingerida. Essa afirmação vai corroborar com os resultados obtidos para eficiência alimentar (EA) ($P < 0,05$) com uma diferença de 17% maior para cordeiros suplementados com óleo (Tabela 4).

Os resultados encontrados em nosso estudo podem ser associados ao maior consumo de extrato etéreo (CEE) pelas dietas contendo óleo de Macadâmia ($P < 0,05$) (Tabela 4). A inclusão de óleo proporciona o aumento da concentração energética da dieta, refletindo em maior consumo de energia e menor CMS (Enjalbert et al., 2017).

No entanto, observa-se que o CMS foi reduzido quando os cordeiros receberam óleo de Macadâmia no confinamento com ou sem vitamina E, o que pode ser associado as proporções de ácido palmitoleico (c9-C16:1) (18%) e oleico (c9-C18:1) (40%) presentes no óleo (Maro et al., 2012; Navarro & Rodrigues, 2016). A ação desses ácidos graxos no organismo é caracterizada pelo melhor aproveitamento da energia ingerida, refletindo no menor CMS (Burns et al., 2012; Duckett et al., 2014; Souza et al., 2018). Vários processos do metabolismo energético parecem ser influenciados pela ingestão desses ácidos graxos, como a ativação de receptores de ácidos graxos livres, os quais quando ativados podem melhorar a

secreção de insulina no pâncreas e conseqüentemente melhorar a absorção de glicose (Ferdaoussi et al., 2012; Poitout, 2018; Tsuchiya et al., 2014).

Tabela 4. Efeito do sistema de manejo e da suplementação com óleo de Macadâmia e vitamina E sobre o consumo de matéria seca, consumo de extrato etéreo e o desempenho dos cordeiros.

Variável	Sistema de Manejo		Suplemento ¹			EPM ²		P-value ³		
	Confinado	Pasto	CON	OM	OME	MAN	SUP	MAN	SUP	MAN*SUP
CMS ⁴ (g/dia)	1204,8 a	861,6 b	1123,7 a	1005,2 b	970,7 b	±19,225	±23,512	<0,0001	<0,0001	0,0479
CEE ⁵ (g/dia)	43,8	44,7	24,2 b	54,2 a	54,3 a	±0,740	±0,903	0,4146	<0,0001	0,1879
CEM ⁶ (Mcal/kg MS)	3,5 a	2,6 b	3,5 a	3,0 b	2,8 b	±0,059	±0,072	<0,0001	<0,0001	0,0002
GPD ⁷ (g)	205,3 a	129,4 b	167	172,6	162,4	±6,547	±7,962	<0,0001	0,6708	0,6141
Peso Abate (kg)	38,4 a	32,6 b	35,8	35,8	35,7	±0,489	±0,597	<0,0001	0,5112	0,8110
EA ⁸ (%)	17,4 a	15,6 b	0,145 b	0,172 a	0,177 a	±0,004	±0,005	0,0036	<0,0001	0,9132

¹ Suplementos: CON (Controle); OM (óleo de Macadâmia) e OME (óleo de Macadâmia + vitamina E); ² Erro padrão da média (EPM); MAN: Sistema de manejo e SUP: Suplemento; ³ Médias com letras diferentes nas linhas diferem ao nível de 5% pelo teste t; ⁴ CMS: consumo de matéria seca; ⁵ CEE: Consumo de extrato etéreo; ⁶CEM: Consumo de Energia Metabolizável estimado; ⁷ GPD: ganho de peso diário; ⁸ EA: Eficiência alimentar.

Tabela 5. Efeito da interação para o CMS e CEM de cordeiros terminados em dois sistemas de manejos e suplementados com óleo de Macadâmia e vitamina E.

Variáveis	Sistema de Manejo	Suplementos ¹						P-value ²
		CON		OM		OME		
CMS ³ (g/dia)	Confinado	1342,534 Aa	±34,126	1165,259 Ab	±32,109	1106,554 Ab	±36,532	< 0,0001
	Pasto	904,869 B	±30,410	845,160 B	±32,214	834,812 B	±34,112	0,8260
<i>P-value</i>		< 0,0001		< 0,0001		< 0,0001		
CEM ⁴ (Mcal/kg MS)	Confinado	4,152 Aa	±0,104	3,405 Ab	±0,104	3,061 Ac	±0,105	< 0,0001
	Pasto	2,743 B	±0,093	2,611 B	±0,099	2,567 B	±0,104	0,7584
<i>P-value²</i>		< 0,0001		< 0,0001		0,0018		

¹ Suplementos: CON (Controle); OM (óleo de Macadâmia) e OME (óleo de Macadâmia + vitamina E); ² Médias com letras diferentes maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas diferem ao nível de 5% pelo teste t ³CMS: consumo de matéria seca; ⁴CEM: Consumo de Energia Metabolizável.

A maior absorção de glicose nos tecidos está associada ao estímulo do ácido palmitoleico e oleico em aumentar o recrutamento de receptores GLUT-4 (Dimopoulos et al., 2006; Duhlmeier et al., 2005). Além disso, Duckett et al. (2014) reportaram que a suplementação com palmitoleico está associada a maior expressão de RNAm associado ao AMPc um segundo mensageiro que determina o combustível usado para fornecer energia a célula (Hoffman et al., 2014). Quando ativado eleva os níveis de glicólise nos tecidos e estimula a síntese de mitocôndrias, permitindo o aumento da oxidação de ácidos graxos incrementando a disponibilidade de energia para o animal e refletindo em menor consumo de alimento (Foretz et al., 2018; Kjøbsted et al., 2018).

A evidencia para que a discussão seja baseada nos processos metabólicos descritos se dá pela baixa inclusão de fibra nas dietas do confinamento (72% concentrado + 28% forragem), que possibilitou maior taxa de passagem do alimento no rúmen levando a menor extensão da bio-hidrogenação dos principais ácidos graxos presentes no óleo (Duckett et al., 2002; Russell et al., 2009).

Vale destacar ainda que a associação de óleo de Macadâmia com vitamina E proporcionou menor CEM no presente estudo para ambos os sistemas de manejo (Tabela 5). Nesse caso uma vez associada aos possíveis efeitos do óleo já discutidos, a vitamina E parece otimizar ainda mais desempenho dos animais. Essa melhora no desempenho frente a menor ingestão de energia pode ser atribuída aos efeitos benéficos da vitamina E sobre o sistema imune (NRC, 2007). A melhor resposta do sistema imune está diretamente associada a sua capacidade em remover radicais livres prevenindo a peroxidação lipídica e conseqüentemente reduzindo os prejuízos desses sobre as células e tecidos (NRC, 2001). Outro aspecto associado a suplementação com vitamina E é que essa está associada em melhorar a biodiversidade dos microrganismos no rúmen responsáveis pelo processo de fermentação (Schäfers et al., 2018). Essas mudanças na biodiversidade ruminal estão associadas ao aumento nas concentrações de propionato e acetato quando ruminantes foram suplementados com vitamina E (Hou et al., 2013), refletindo conseqüentemente em maior quantidade de ácidos graxos voláteis no rúmen, repercutindo em maior energia disponível ao animal (Chauhan et al., 2016; McDowell et al., 1996).

3.2. Qualidade da carne e composição centesimal

Não houve efeito significativo ($P > 0,05$) do sistema de manejo e dos suplemento para o pH pré *rigor-mortis* (0 horas). No entanto, o pH pós *rigor-mortis* (24 horas) foi influenciado

($P < 0,05$) pelo sistema de manejo (Tabela 6) com valores de 5,83 e 5,69 para cordeiros confinados e a pasto, sendo aceitáveis para a carne de cordeiro ($\text{pH} < 6,0$) (KIM et al., 2014). Entretanto, a diferença encontrada pode ser associada ao maior estresse pré-abate por parte dos animais confinados. Segundo Boughalmi et al. (2016) e Kadim et al. (2007) o transporte da fazenda até o frigorífico e as condições climáticas do transporte ao abate são os principais fatores para o aumento do estresse pré-abate, o que pode influenciar o pH da carne. Em nosso trabalho os cordeiros foram transportados a uma distância de 130 km para serem abatidos, sendo o transporte realizado durante as horas mais quentes do dia (entre 12:00 e 15:00 horas). Bonagurio et al. (2004) relatam que cordeiros que sofrem estresse antes do abate apresentam menor reserva de glicogênio muscular e valores de pH acima de 5,80, sendo o limiar de referência para a detecção de carnes DFD (Dark, Firm e Dry) em cordeiros (Ponnampalam et al., 2017), provocando grandes perdas econômicas para a indústria, já que são menos aceitas pelo consumidor devido a cor escura. Porém, os resultados encontrados em nosso trabalho para os atributos de cor são aceitáveis para carne de cordeiro e não refletem as características de carnes DFD ($L^* = 39,41$) (Miranda-de la Lama et al., 2009).

Foi observado influência do sistema de manejo sobre a luminosidade (L^*) ($P < 0,05$), o que pode ser associado à maior deposição de gordura intramuscular dos animais confinados (Tabela 6), aumentando a luminosidade. Esses efeitos sobre a luminosidade também são reportados por Brito et al. (2017), Holman et al. (2017) e Priolo et al. (2002). Observou-se também que o uso de óleo de Macadâmia, independente do sistema de manejo, utilizando ou não vitamina E, promoveu uma maior ($P < 0,05$) luminosidade na carne. Esse resultado pode ser associado ao maior consumo de energia proporcionado pelo óleo, e por esse motivo a maior disponibilidade de energia permitiu maior deposição de gordura (Tabela 6).

Os valores do índice de vermelho (a^*) estão de acordo com o resultado descrito na literatura para a carne de cordeiro $a^* = 14,5$ (Holman et al., 2017), porém esse parâmetro não foi influenciado pelo sistema de manejo e os suplementos ($P > 0,05$) (Tabela 6). Já o índice de amarelo (b^*) apresentou diferença significativa para sistema de manejo ($P < 0,05$), com maiores valores para cordeiros manejados em pastagem (10,406 vs. 9,423). Essa diferença pode ser associada a maior ingestão de pigmentos, como os carotenoides, que são encontrados em grandes quantidades na pastagem (Boughalmi & Araba, 2016; Priolo et al., 2002).

Tabela 6. Efeito do sistema de manejo e da suplementação com óleo de Macadâmia e vitamina E sobre qualidade da carne e a composição centesimal da carne de cordeiros.

Variável	Sistema de Manejo		Suplemento ¹			EPM ²		P-value ³		
	Confinado	Pasto	CON	OM	OME	MAN	SUP	MAN	SUP	MAN*SUP
pH pré-rigor	6,82	6,85	6,87	6,791	6,851	±0,051	±0,063	0,7028	0,6334	0,4743
pH pós-rigor	5,83 b	5,69 a	5,784	5,834	5,664	±0,043	±0,052	0,0263	0,0815	0,8198
Cor										
L*	41,88 a	40,30 b	39,83 b	41,59 a	41,85 a	±0,481	±0,589	0,0248	0,0355	0,3386
a*	14,75	14,58	15,16	14,816	14,016	±0,287	±0,351	0,6726	0,0844	0,9837
b*	9,42 a	10,41 b	10,098	9,96	9,686	±0,267	±3,447	0,0127	0,6765	0,8397
PPD⁴ (%)	4,25 a	5,10 b	4,64	4,75	4,75	±0,172	±0,209	0,0010	0,9005	0,8096
PPC⁵ (%)	12,14	12,14	13,71	12,11	12,98	±0,608	±0,740	0,0725	0,0725	0,8837
FC⁶ (kgf/cm²)	3,26	3,43	3,46	3,31	3,27	±0,098	±0,119	0,2284	0,482	0,2454
CRA⁷ (%)	0,17	0,17	0,16	0,17	0,17	±0,006	±0,007	0,4786	0,4967	0,5636
TBARS⁸	0,49	0,47	0,56 b	0,49 b	0,38 a	±0,024	±0,029	0,6315	0,0004	0,6315
Composição centesimal (g/100g)										
Proteína	21,73	21,56	21,53	21,54	21,88	±0,108	±0,131	0,2784	0,1349	0,225
Gordura	3,06 b	2,10 a	2,21 b	2,63 a	2,89 a	±0,112	±0,136	<0,0001	0,0054	0,1727
Umidade	73,56 b	74,81 a	74,41	74,19	73,96	±0,192	±0,234	<0,0001	0,4137	0,6867
Matéria Mineral	1,82	1,62	1,78	1,65	1,73	±0,142	±0,173	0,3464	0,8600	0,2177

¹ Suplementos: CON (Controle); OM (óleo de Macadâmia) e OME (óleo de Macadâmia + vitamina E); ² Erro padrão da média (EPM): MAN: Sistema de manejo e SUP: Suplemento; ³ Médias com letras diferentes nas linhas diferem ao nível de 5% pelo teste t; ⁴ PPD: Perda por descongelamento; ⁵ PPC: Perda por cozimento; ⁶ CRA: Capacidade de retenção de água; ⁷ FC: Força de cisalhamento, expressas em kgf/cm²; ⁸ Substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) em mg de malonaldeído / kg de carne.

Houve efeito significativo do sistema de manejo sobre o percentual de perda por descongelamento ($P < 0,05$). Entretanto, não foi observada diferença significativa ($P > 0,05$) para a quantidade absoluta (peso) de perda por descongelamento. Os resultados aqui obtidos (4,25% confinado vs. 5,10% pasto) podem ser associados ao menor pH *pós-mortem* quando os cordeiros foram manejados em pastagem. O pH é responsável em modificar a ionização e as cargas líquidas das estruturas proteicas, promovendo a desnaturação e/ou a insolubilidade das proteínas. Dessa forma, carnes com pH final próximo do ponto isoelétrico das proteínas (5,0 a 5,4) proporcionam um ambiente em que as cargas positivas e negativas se igualam, contribuindo para que o sítio de ligação das proteínas esteja indisponível a ligações com moléculas de água, reduzindo a quantidade de água retida e aumentando a porção de água livre (REF). Já o percentual da perda por cozimento não foi alterado ($P > 0,05$) (Tabela 6).

De acordo com os resultados obtidos nesse trabalho para o pH *pós-mortem*, perda por descongelamento e perda por cozimento, esperava-se encontrar diferenças para a capacidade de retenção de água (CRA) e a força de cisalhamento (FC). No entanto, não houve diferença entre os tratamentos estudados para esses parâmetros de qualidade ($P > 0,05$), o que pode ser decorrente do fato dos cordeiros terem sido abatidos com a mesma idade. Segundo Bressan et al. (2001) características como CRA e FC são pouco influenciáveis quando avaliadas em animais jovens, os mesmos sugerem que esses parâmetros aumentam com a idade do animal. Os valores médios encontrados nesse trabalho 17% CRA e 3,34 kgf/cm² para FC estão de acordo com os valores médios relatados por Osório et al. (2014) de 18,5% para CRA e de 3,56 kgf/cm² para FC (Coombs et al., 2016).

Houve menor oxidação da gordura da carne, pelo método TBARS, em cordeiros recebendo vitamina E ($P < 0,05$). Os resultados encontrados no presente trabalho estão de acordo com os reportados por Ripoll et al. (2013) de 0,2 a 1,2 mg malonaldeído/kg de carne quando cordeiros foram suplementados com vitamina E. A suplementação com vitamina E contribuiu para o aumento da deposição de tocoferol nas membranas celulares, proporcionando maior proteção aos ácidos graxos poli-insaturados contra a degradação oxidativa (M. Bellés et al., 2018; Marc Bellés et al. 2019). A melhor estabilidade oxidativa da carne devido a suplementação com vitamina E está diretamente associada as características apresentadas pela carne quando exposta no varejo, como a melhor estabilidade da cor, além da preservação do valor nutricional da carne de cordeiro (De Lima Júnior et al., 2013).

O sistema de manejo afetou a concentração de gordura intramuscular ($P < 0,05$, Tabela 6), com os cordeiros terminados em confinamento apresentando um aumento de 31% no

conteúdo de gordura em relação aos terminados a pasto. Esse resultado possivelmente está associado ao maior consumo de energia pelos animais confinados, resultando em maior lipogênese e hipertrofia dos adipócitos. Já o teor de umidade foi maior nos cordeiros terminados em pastagem, uma vez que o conteúdo lipídico na carne está negativamente associado ao teor de umidade (D'Alessandro et al., 2015).

A adição de óleo de Macadâmia, com ou sem vitamina E, aumentou o conteúdo de gordura no músculo ($P < 0,05$). Esse resultado contradiz o relatado por Duckett et al. (2014), de que a suplementação com fontes de ácido palmitoleico está associada com a redução do conteúdo de gordura em ovinos. Porém os animais utilizados por esses autores já eram adultos, o que difere bastante, metabolicamente dos cordeiros desse experimento que estavam em crescimento. Uma possível explicação para esses resultados é que por estarem em crescimento os cordeiros do nosso trabalho possuem maior exigência nutricional frente aos animais adultos, o que associado ao maior consumo de EE, permitiu maior disponibilidade de energia a qual foi armazenada na forma de gordura no músculo (Bonagurio et al., 2004; C. Sañudo et al., 2000).

3.3. Perfil de ácidos graxos e na carne e atividade enzimática

As proporções de C10:0 e C16:0 foram 20 e 8,46% maiores, respectivamente, nos animais confinados, enquanto as de C18:0 foram 14% maiores nos animais a pasto (Tabela 7). Essas proporções estão de acordo com as reportadas por outros autores para animais a pasto e em confinamento (Blanco et al., 2017; Boughalmi & Araba, 2016; Gallo & Siqueira, 2007; Margetín et al., 2018). Maiores quantidades (mg/g) de C10:0 podem repercutir em uma carne com o odor e sabor característico da espécie mais acentuado (Watkins et al., 2013), a qual pode ser menos aceita pelo consumidor (Gunawan et al., 2018; Sañudo et al., 2013).

Segundo Bas e Morand-Fehr (2000) a formação de C10:0 está associada ao maior consumo de energia, refletindo em maior disponibilidade de substrato (acetato e propionato) para sua síntese por ação dos microrganismos presentes no rúmen. O maior consumo de energia também pode ser associado ao aumento dos níveis de C16:0 uma vez que a ativação da enzima acetil-Coa carboxilase, que é responsável por converter acetil-CoA em malonil-CoA durante a lipogênese (Ladeira et al., 2018).

Tabela 7. Efeito do sistema de manejo e da suplementação com óleo de Macadâmia e vitamina E sobre a proporção (%AG) do músculo *Longissimus lumborum* de cordeiros.

Variável	Sistema de manejo		Suplemento ¹			EPM ²		P-value ³		
	Confinado	Pasto	COM	OM	OME	MAN	SUP	MAN	SUP	MAN*SUP
C10:0	0,18 b	0,14 a	0,16	0,16	0,15	±0,001	±0,001	< 0,0001	0,3871	0,6375
C14:0	2,38	2,4	2,47	2,29	2,41	±0,006	±0,007	0,8899	0,5975	0,9619
C16:0	23,26 b	21,29 a	22,29	22,2	22,34	±0,105	±0,128	< 0,0001	0,9662	0,0687
C18:0	14,77 b	17,22 a	15,11	16,42	16,45	±0,307	±0,374	< 0,0001	0,0517	0,5948
c9-C16:1	2,42 a	2,10 b	2,24	2,19	2,35	±0,364	±0,442	0,0009	0,3091	0,0797
c9-C18:1	41,05 a	35,07 b	37,87	38,39	37,91	±0,061	±0,074	< 0,0001	0,765	0,409
c11-C18:1	1,79 a	1,62 b	1,71	1,77	1,63	±0,476	±0,578	0,0417	0,3732	0,1889
t-C18:1	2,88 a	3,76 b	2,91 b	3,49 a	3,56 a	±0,058	±0,07	< 0,0001	0,0127	0,0533
C18:2 n6	3,98 b	4,61 a	4,65	4,16	4,09	±0,137	±0,166	0,0239	0,2015	0,2983
C18:3 n3	0,14	0,14	0,10 b	0,17 a	0,16 a	±0,188	±0,231	0,8946	< 0,0001	0,0161
C20:4 n6	1,43 b	2,31 a	1,94	1,88	1,80	±0,006	±0,007	0,0001	0,864	0,1841
C20:5 n3 (EPA)	0,08 b	0,23 a	0,20 a	0,14 b	0,13 b	±0,143	±0,177	< 0,0001	0,0285	0,1673
C22:5 n3 (DPA)	0,24 b	0,37 a	0,38 a	0,25 b	0,29 b	±0,016	±0,019	0,0002	0,0058	0,5367
C22:6 n3 (DHA)	0,06 b	0,08 a	0,08	0,06	0,07	±0,022	±0,026	0,0251	0,1076	0,9094
Σ AGS	42,95	43,72	42,62	43,55	43,82	±0,007	±0,008	0,329	0,4069	0,3043
Σ MUFA	47,45 a	42,70 b	44,36	46,98	43,9	±0,549	±0,669	0,0265	0,4187	0,2185
Σ PUFAS	6,59	7,40	7,82 a	6,74 b	6,43 b	±1,459	±1,779	0,0902	0,059	0,3451
CLA	0,51 b	0,74 a	0,66	0,58	0,62	±0,329	±0,404	< 0,0001	0,1397	0,1685
Σ n6	5,51	4,98	5,15	5,61	4,97	±0,024	±0,029	0,3612	0,6389	0,1524
Σ n3	0,52	0,61	0,59	0,57	0,53	±0,402	±0,491	0,1328	0,7525	0,7231
PUFA/AGS	0,15	0,17	0,18	0,16	0,14	±0,045	±0,054	0,3033	0,087	0,2203
n6:n3	9,68 b	7,20 a	8,41	9,16	7,75	±0,009	±0,011	< 0,0001	0,0565	0,1436
IA	0,58	0,6	0,6	0,58	0,6	±0,336	±0,412	0,3241	0,5901	0,6779
IT	1,47 a	1,64 b	1,54	1,56	1,57	±0,015	±0,018	0,0002	0,804	0,0939
Δ⁹ – 14	4,46	4,11	4,15	4,29	4,41	±0,161	±0,195	0,1423	0,6542	0,9162
Δ⁹ – 16	8,56	8,83	8,4	9,02	8,65	±0,465	±0,573	0,6864	0,7313	0,1804
Δ⁹ – 18	73,70 a	67,02 b	71,28	70,07	69,72	±0,604	±0,734	< 0,0001	0,2911	0,4456
Δ⁹ – TOTAL	51,74 a	47,44 b	49,85	49,88	49,04	±0,457	±0,555	< 0,0001	0,512	0,7369
Elongase	68,8	69,47	69,12	69,53	68,74	±0,465	±0,565	0,3166	0,6315	0,3118

¹ Suplementos: CON (Controle); OM (óleo de Macadâmia) e OME (óleo de Macadâmia + vitamina E); ² Erro padrão da média (EPM): MAN: Sistema de manejo e SUP: Suplemento; ³ Médias com letras diferentes nas linhas diferem ao nível de 5% pelo teste t; ⁴ Índice de aterogenicidade IA= [C12:0 + 4(14:0) + C16:0] / ΣAGS + ΣAGPI; ⁵ índice de trombogenicidade IT= [C12:0 + C16:0 + C18:0] / (0,5xAGMI) + (0,5x n6) + (3x n3) + (n3/ n6); ⁶ C14 index: Δ⁹ – 14 = 100 [(C14:1cis9) / (C14:1ci9+C14:0)]; ⁷ C16 index: Δ⁹ – 16 = 100 [(C16:1cis9) / (C16:1cis9+C16:0)]; ⁸ C18 index: Δ⁹ – 18 = 100 [(C18:1cis9) / (C18:1cis9+C18:0)]; ⁹ Total dessaturase index: Δ⁹ – TOTAL = 100 [(C14:1+ C16:1+ C18:1) / (C14:1+ C16:1+ C18:1+ C14:0+ C16:0+ C18:0)]; ¹⁰ Elongase: 100 [(C18:1cis9+C18:0) / (C16:1cis9+C16:0+ C18:1cis9+C18:0)].

Tabela 8. Efeito do sistema de manejo e da suplementação com óleo de Macadâmia e vitamina E sobre a concentração de ácidos graxos (mg/100g músculo) do músculo *Longissimus lumborum* de cordeiros.

Variável	Sistema de manejo		Suplemento ¹			EPM ²		P-value ³		
	Confinado	Pasto	COM	OM	OME	MAN	SUP	MAN	SUP	MAN*SUP
C10:0	4,29 b	2,64 a	2,77 a	3,89 b	3,73 b	±0,208	±0,255	<0,0001	0,0106	0,0732
C14:0	62,46 b	43,34 a	42,05 a	55,79 b	60,86 b	±2,938	±3,604	<0,0001	0,0038	0,4999
C16:0	634,23 b	402,83 a	446,96 a	539,93 b	568,69 b	±25,848	±31,42	<0,0001	0,0226	0,826
C18:0	397,70 a	328,13 b	302,706 a	396,448 b	389,585 b	±19,794	±24,151	0,0175	0,0124	0,6998
c9-C16:1	70,05 a	37,60 b	44,94	57,06	59,48	±4,021	±4,977	<0,0001	0,0987	0,3651
c9-C18:1	1159,87 a	668,90 b	765,54 b	947,09 a	1030,53 a	±46,078	±56,085	<0,0001	0,0061	0,4027
c11-C18:1	49,40 a	32,76 b	33,26 b	42,98 a	46,99 a	±1,997	±2,42	<0,0001	0,0008	0,6831
t-C18:1	78,13	78,84	61,47 b	87,68 a	86,30 a	±3,909	±4,809	0,8975	0,0003	0,0999
C18:2 n6	107,02	97,16	99,16	103,86	103,25	±5,17	±6,328	0,1861	0,8356	0,2815
C18:3 n3	4,10 a	2,76 b	1,76 c	3,87 b	4,66 a	±0,136	±0,164	<0,0001	<0,0001	<0,0001
C20:4 n6	36,64	41,65	38,8	41,97	36,67	±2,428	±2,971	0,1527	0,4768	0,2647
C20:5 n3 (EPA)	2,17 b	4,14 a	3,58 a	3,04 b	2,84 b	±0,168	±0,206	<0,0001	0,0429	0,1639
C22:5 n3 (DPA)	6,18 b	8,11 a	7,22	6,46	7,75	±0,479	±0,588	0,0077	0,3132	0,7989
C22:6 n3 (DHA)	1,73 b	2,32 a	2,02	2,01	2,05	±0,144	±0,175	0,0073	0,9884	0,8117
Σ AGS	1154,48 b	874,12 a	912,27 b	1034,33 a	1096,30 a	±40,844	±50,15	<0,0001	0,0473	0,1231
Σ MUFA	1316,03 a	867,13 b	943,22 b	1097,92 a	1233,62 a	±44,549	±54,615	<0,0001	0,0032	0,0204
Σ PUFAS	181,15	168,98	167,52	183,81	173,87	±6,616	±8,096	0,2016	0,3264	0,0277
CLA	14,09	13,83	13,34	14,12	14,42	±0,823	±1,009	0,823	0,7375	0,0939
Σ n6	144,09	137,11	134,41	143,69	143,7	±6,459	±7,901	0,4505	0,6229	0,1734
Σ n3	12,41 b	17,79 a	13,8	15,42	16,08	±0,669	±0,826	<0,0001	0,16	0,4432

¹ Suplementos: CON (Controle); OM (óleo de Macadâmia) e OME (óleo de Macadâmia + vitamina E); ² Erro padrão da média (EPM): MAN: Sistema de manejo e SUP: Suplemento; ³ Médias com letras diferentes nas linhas diferem ao nível de 5% pelo teste t

A maior proporção de C18:0 encontrada para os cordeiros manejados a pasto pode ser associada a maior extensão da bio-hidrogenação devido o maior tempo de retenção do alimento no rúmen, tendo como produto final o C18:0 (Enjalbert et al., 2017; Toral et al., 2018). Além disso, dietas ricas em grãos podem reduzir o pH do rúmen, afetando a sobrevivência dos microrganismos ruminais responsáveis pela bio-hidrogenação reduzindo a formação de C18:0 (Fiorentini et al., 2015).

Tomando como base os resultados de quantidade (mg/g), observa-se maior concentração de ácidos graxos hipercolesterolêmicos C16:0 e C14:0 quando os cordeiros foram manejados em confinamento ($P < 0,05$) (Tabela 8). Já o C18:0 é descrito como menos maléfico a saúde humana em comparação ao C14:0 e C16:0 por possuir efeito neutro sobre os níveis de colesterol total (Hunter et al., 2010), enquanto o C14:0 e o C16:0 são associados ao maior risco de desenvolver doenças cardiovasculares, o que está associado a elevação da lipoproteína de baixa densidade (LDL) (Chikwanha et al., 2018; Jiang & Xiong, 2016).

Foi observado um aumento de 13% para as proporções de c9-C16:1 e c9-C18:1 e 9,55% para o c11-C18:1 quando os cordeiros foram manejados em confinamento. Segundo Campbell et al. (2016) e Smith et al. (2009) dietas mais energéticas são potentes em estimular a lipogênese, promovendo maior atividade da enzima estearoil-CoA dessaturase (SCD-1). A SCD-1, que é responsável por dessaturar os ácidos graxos C16:0 e C18:0 entre os carbonos 9 e 10, respectivamente. Diante disto e associado aos resultados obtidos para os índices de dessaturação (Tabela 7), foi possível estimar um aumento de 9,05% na atividade das dessaturases sobre as cadeias com 18 carbonos ($P < 0,05$). Podemos considera que possivelmente a atividade total das dessaturases ($P < 0,05$) com aumento de 8,32% nos animais confinados, contribuiu para o aumento nas proporções de c9-C18:1 como também os resultados obtidos para c9-C16:1. Porém, a maior proporção de c11-C18:1 apesar da atividade das elongases não ter sido significativo ($P > 0,05$) (Tabela 7), pode ser associado a maior lipogênese nos cordeiros terminados em confinamento. Yu et al. (2018) relataram que o c11-C18:1 é um dos produtos primários da lipogênese e que essa quando mais intensa reflete na formação desse ácido graxo. Esses mesmo autores também destacaram a necessidade de mais estudos para entender a síntese endógena do c11-C18:1, o qual está associado a efeitos anti-inflamatório no organismo (Souza et al., 2017). As diferenças encontradas para a quantidade (mg/g) de c9-C16:1, c9-C18:1 e c11-C18:1 podem ser associadas ao maior conteúdo de gordura nos animais confinados que possivelmente contribuiu para a diferença ($P < 0,05$) encontrada para os sistemas de manejo, como também para a influência dos suplementos para as quantidades de

c9-C18:1 e c11-C18:1 quando os cordeiros receberam óleo de Macadâmia com ou sem vitamina E.

O manejo a pasto proporcionou maior proporção total de t-C18:1 ($P < 0,05$). Esses achados estão de acordo com os reportados por Auroseau et al. (2007) e Cividini et al. (2014). Segundo Daley et al. (2010), dietas à base de forragem tendem a aumentar a proporção dos isômeros t-C18:1, incluindo o ácido vacênico (t11-C18:1), e do CLA c9t11-C18:2, o qual também teve maior proporção quando os cordeiros foram manejados em pastagem ($P < 0,05$) (Tabela 7). Margentín et al. (2018) relatam que a maior proporção de t-C18:1 em cordeiros em pastagem provavelmente está associada a maior concentração de t11-C18:1, o qual é um intermediário do processo de bio-hidrogenação do ácido α -linolênico (C18:3 n3), que é encontrado em grandes proporções em dietas a base de pastagens. No entanto, quando verificamos a quantidade (mg/g), não observa-se diferença significativa ($P > 0,05$) para o t-C18:1 e o CLA, já que a maior quantidade de gordura nos cordeiros confinados, mesmo estando em menor proporção no total de EE da carne, favoreceu o incremento desses ácidos graxos, disponibilizando assim, quantidades semelhantes aquela encontrada quando os cordeiros são manejados em pastagem. O CLA e seu precursor t11-C18:1 são frequentemente reportados por seus efeitos benéficos a saúde humana, já que o CLA possui efeito anticarcinogênico (Chikwanha et al., 2018).

Observou-se menor proporção de t-C18:1 quando os animais foram suplementados com óleo de Macadâmia, independente da adição de vitamina E ($P < 0,05$) (Tabela 7). Segundo Ladeira et al. (2018) a inclusão de fontes lipídicas ricas em ácidos graxos insaturados na dieta de ruminantes pode afetar negativamente o processo de bio-hidrogenação. Porém, no presente trabalho observamos o aumento de isômeros t-C18:1 quando os animais receberam óleo, o que pode ser associado ao estímulo do óleo para maior bio-hidrogenação, que possivelmente contribuiu para maior proporção de isômeros *trans*, sendo associado a maior proporção de C18:0 quando os animais receberam óleo com ou sem vitamina E como produto final da bio-drogenação.

Em relação aos ácidos graxos essenciais das séries n6 e n3, os quais contribuem para o bem-estar e a saúde humana (Chikwanha et al., 2018), observou-se influência do sistema de manejo para a proporção de C18:2 n6 (linoleico), a qual foi 13% maior na carne dos cordeiros terminados em pastagem ($P < 0,05$) (Tabela 7). Cividini et al. (2014) e Margentín et al. (2018) relatam a mesma influência dos sistemas de manejo sobre as proporções de C18:2 n6, com

médias de 2,73% em confinamento e 6,42% na pastagem, sendo esses valores próximos dos encontrados em nosso trabalho 3,98% no confinamento e 4,61% na pastagem.

Houve interação ($P < 0,05$) para a proporção de C18:3 n3 (α -linolênico) (Tabela 9). Esse resultado pode ser justificado pelo possível efeito tóxico do óleo de Macadâmia sobre os microrganismos ruminais afetando a intensidade da bio-hidrogenação e refletindo em maiores proporções de C18:3 n3 disponível para ser incorporada aos tecidos (Enjalbert et al., 2017). Entretanto, observa-se aumento expressivo da quantidade (mg/g) de C18:3 n3 quando os cordeiros foram suplementados com óleo de Macadâmia e vitamina E e são manejados em confinamento, possivelmente devido a maior deposição de gordura e a menor oxidação lipídica proporcionada pela inclusão de vitamina E durante o tempo em que a carne foi armazenada até a realização das análises.

Tabela 9. Efeito da interação para C18:3 n3 de cordeiros terminados em dois sistemas de manejo e suplementados com óleo de Macadâmia e vitamina E.

Ácido graxo	Sistema de Manejo	Suplementos ¹			<i>P-value</i> ²
		CON	OM	OME	
C18:3 n3 (%)	Confinado	0,084 Bb ±0,010	0,168 a ±0,010	0,178 Aa ±0,012	< 0,0001
	Pasto	0,115 Ab ±0,010	0,169 a ±0,011	0,143 B ab ±0,011	
<i>P-value</i>		0,0390	0,9603	0,0376	
C18:3 n3 (mg/100g músculo)	Confinado	1,924 c ±0,216	4,414 Ab ±0,231	5,975 Aa ±0,248	<0,0001
	Pasto	1,592 b ±0,230	3,330 Ba ±0,230	3,346 Ba ±0,246	
<i>P-value</i>		0,2998	0,0020	<0,0001	

¹ Suplementos: CON (Controle); OM (óleo de Macadâmia) e OME (óleo de Macadâmia + vitamina E); ² Médias com letras diferentes maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas diferem ao nível de 5% pelo teste t.

As proporções de C20:4 n6 (ácido araquidônico), C20:5 n3 (EPA), ácido C22:5 n3 (DPA) e C22:6 n3 (DHA), os quais são importantes e de grande interesse do ponto de vista da saúde humana, foram maiores ($P < 0,05$) em cordeiros manejados em pastagem (2,31%; 0,23%; 0,37% e 0,09% respectivamente) comparados aos cordeiros manejados em confinamento (1,43; 0,08; 0,24% e 0,06% respectivamente). Howes et al. (2015) e Margentín et al. (2018) mencionaram que os diferentes alimentos que compõem as dietas em diferentes sistemas de manejo, podem influenciar consideravelmente as proporções desses ácidos graxos na carne e que cordeiros manejados em pastagem apresentam maiores proporções desses ácidos graxos benéficos a saúde humana. Porém, a quantidade (mg/g) de C20:4 n6 se mantém na mesma quantidade em ambos os sistemas de manejo ($P > 0,05$). Entretanto, as quantidades de C20:5 n3, C22:5 n3 e C22:6 n3 não foram influenciadas pela maior deposição gordura, e se mantiveram maiores para os animais manejados em pastagem ($P < 0,05$).

As proporções de C20:5 n3 e C22:5 n3 foram reduzidas quando os animais foram suplementados com óleo de Macadâmia, independente da adição de vitamina E ($P < 0,05$). Uma possível explicação para esse resultado é efeito do óleo em inibir a síntese de enzimas envolvidas no processo de dessaturação e alongação. Souza et al. (2018) relataram que a suplementação de óleo de Macadâmia em ratos repercutiu em menor atividade das enzimas dessaturases e alongases no tecido adiposo. Ladeira et al. (2018) descreveram que a suplementação com fontes lipídicas ricas em ácidos graxos insaturados para animais ruminantes são caracterizadas por regular negativamente a expressão gênica de enzimas responsáveis em dessaturar e alongar ácidos graxos, etapas que são cruciais para a formação de C20:5 n3 e C22:5 n3.

Quanto a relação n6:n3, observou-se efeito significativo ($P < 0,05$) do sistema de manejo, em que a relação foi menor quando os cordeiros foram manejados em pastagem. Boughalmi et al., (2016) observaram o mesmo efeito quando avaliaram a relação de n6:n3 em cordeiros manejados em diferentes sistemas. Porém, esses autores relatam que valores aceitáveis para o benefício da saúde humana estaria em torno de 4:1 de n6:n3, a qual não deve exceder a proporção 10:1 (Russo, 2009; Wood et al., 2004).

Em nosso trabalho todos os resultados para relação de n6:n3 foram acima do esperado, porém os valores para o $\Sigma n6$ encontram-se dentro dos valores reportados na literatura para a carne de cordeiro de 3,27% a 8,50% (Aurousseau et al., 2007; Margetín et al., 2018; Wood et al., 2008) enquanto os valores para $\Sigma n3$ estão muito abaixo dos apresentados por esses mesmos autores 1,57% a 4,55%. Sendo assim esses resultados podem ser um indicativo da deficiência da atividade de alongases e dessaturases na síntese de ácidos graxos da série n3 (Holman, 1998; Ladeira et al., 2018; Saini et al., 2018). Porém, há relatos na literatura de que a genética pode influenciar o perfil de ácidos graxos na carne. Segundo Madruga et al. (2006) a raça Dorper por conferir precocidade de acabamento, pode tender a depositar maiores concentrações de ácidos graxos saturados em idade mais jovem, reduzindo a quantidade de ácidos graxos poli-insaturados que compõe os fosfolipídios de membrana. Valores semelhantes e até maiores para relação n6:n3 também foram reportados por Bezerra et al. (2016), Morgado et al. (2018) e Ricardo et al. (2015) (12,64:1; 9,43:1 e 7,23:1 respectivamente) quando avaliaram o perfil de ácidos graxos no músculo *Longissimus* de cordeiros mestiços Dorper x Santa Inês.

Em relação ao índice de aterogenicidade (IA), não foi observado efeito significativo ($P > 0,05$) das variáveis estudadas nesse trabalho (Tabela 7). No entanto, vale destacar que os valores encontrados (média = 0,59) estão dentro do recomendado por Ulbricht e Southgate

(1991), os quais mencionam valor máximo de 1,00 para carne de cordeiro. O IA reflete o perfil de ácidos graxos pró e antiaterogênicos e o potencial de estímulo à agregação plaquetária. Quanto menores os valores de IA, maior a quantidade de ácidos graxos antiaterogênicos presentes na gordura e conseqüentemente maior o potencial de prevenção ao aparecimento de doenças coronárias (Scollan et al., 2017).

Para o índice de trombogenicidade (IT) observou-se efeito significativo ($P < 0,05$) para os sistemas de manejo (Tabela 7), com menor valor quando os cordeiros foram manejados em confinamento 1,47 comparado a 1,64 na pastagem. Porém, os valores encontrados em nosso trabalho estão acima de 1,33 o que seria o máximo permitido para a carne de cordeiro (Ulbricht & Southgate, 1991). De acordo com nossos resultados, a diferença encontrada entre os sistemas de manejo pode ser associada a maior proporção de ácidos graxos monoinsaturados presente no músculo de cordeiros manejados em confinamento ($P < 0,05$) (Tabela 7). Já que os somatórios de ácidos graxos saturados e poli-insaturados não foram influenciados pelos diferentes sistemas de manejo ($P > 0,05$).

3.4. Expressão gênica

Mesmo tendo havido diferença na deposição de gordura e perfil de ácidos graxos entre os sistemas de manejo ($P < 0,05$) (Tabelas 7). Não foi observado a mesmo efeito ($P > 0,05$) sobre a expressão dos genes SREBP-1c, PPAR- α , SCD-1 e ELOVL6 (Figura 1).

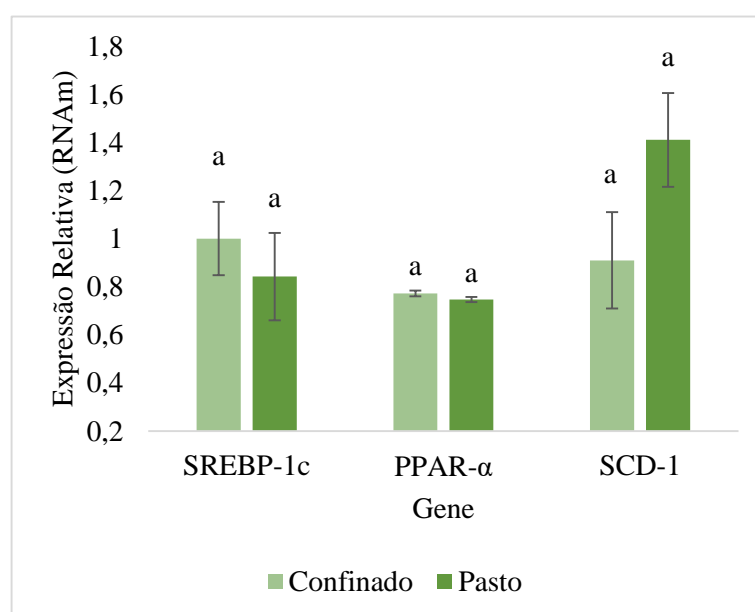


Figura 1. Expressão relativa dos genes SREBP-1c, PPAR- α e SCD-1 no músculo *Longissimus lumborum* de cordeiros

manejados em confinamento e pastagem. P-value: SREBP-1c ($P = 0,5389$), PPAR- α ($P = 0,1341$) e SCD-1 ($P = 0,1551$). Letras diferentes diferem ao nível de 5% pelo teste t.

Observou-se influencia ($P < 0,05$) do óleo de Macadâmia associado com vitamina E para a expressão dos genes SCD-1 e ELOVL6, com valores maiores para esse tratamento (Figura 2). Entretanto, para ELOVL-6 também houve interação, e será discutido desdobrando os fatores.

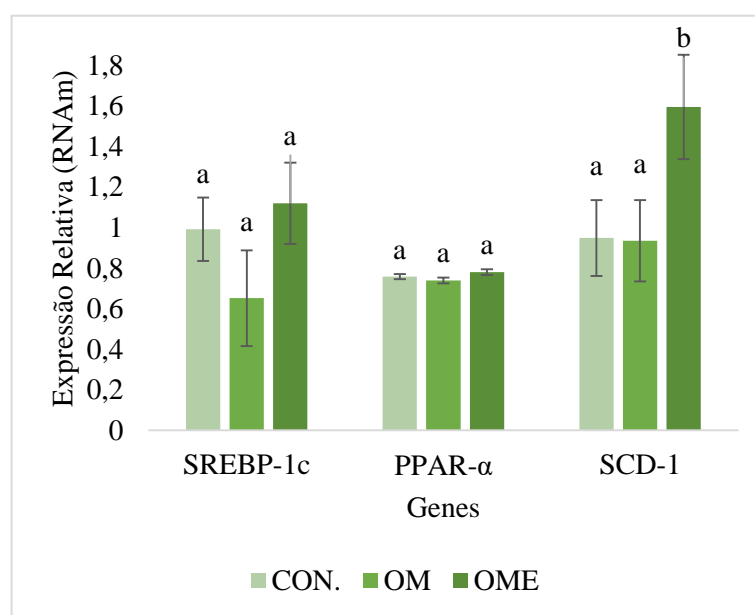


Figura 2. Expressão relativa dos genes SREBP-1c, PPAR- α e SCD-1 no músculo *Longissimus lumborum* de cordeiros suplementados com óleo de Macadâmia e vitamina E. P-value: SREBP-1c ($P = 0,5389$), PPAR- α ($P = 0,1341$) e SCD-1 ($P = 0,1551$). Letras diferentes diferem ao nível de 5% pelo teste t.

Quando observamos o efeito dos suplementos sobre os valores encontrados para o fator de transcrição SREBP-1c, nota-se que a expressão desse gene foi numericamente maior quando os cordeiros receberam óleo de Macadâmia e vitamina E ($P > 0,05$). De acordo com Ladeira et al. (2018) a maior expressão do fator de transcrição SREBP-1c está diretamente associada a maior atividade da SCD-1, a qual é caracterizada como um marcador confiável comparação das taxas de lipogênese nos tecidos (Dobrzyn et al., 2005). Dessa forma, mesmo não sendo significativa a maior expressão para SREBP-1c quando os cordeiros foram suplementados com óleo e vitamina E pode ter sido suficiente para estimular a transcrição da SCD-1 de forma significativa.

Não houve influência ($P < 0,05$) da inclusão de óleo de Macadâmia sobre a expressão do fator de transcrição PPAR- α . Segundo Souza et al. (2018) a inclusão de fontes lipídicas ricas

em palmitoleico e oleico estimulam a ativação desse fator de transcrição. Quando ativado o PPAR- α está associado a menor expressão de genes associados a lipogênese, como das enzimas acetil-CoA carboxilase (ACC), ácido graxo sintase (FAS), SCD-1 e elongases (ELOVL5 e ELOVL6), os quais, por sua vez, são estimulados pelo fator de transcrição SREBP-1c (Burns et al., 2012).

Houve interação ($P < 0,05$) entre sistema de manejo e suplementação com óleo, com ou sem vitamina E, para a expressão do gene ELOVL6 (Figura 3), que foi mais expresso quando os cordeiros foram manejados em confinamento e receberam óleo de Macadâmia e vitamina E, enquanto que no manejo a pasto, essa diferença entre os suplementos não ocorreu. Além disso, pode-se notar efeito significativo ($P < 0,05$) sobre a ELOVL6 entre os sistemas de manejo, quando os cordeiros não receberam óleo de Macadâmia (Figura 3), porém essa diferença não ocorreu quando os animais receberam óleo, com ou sem vitamina E.

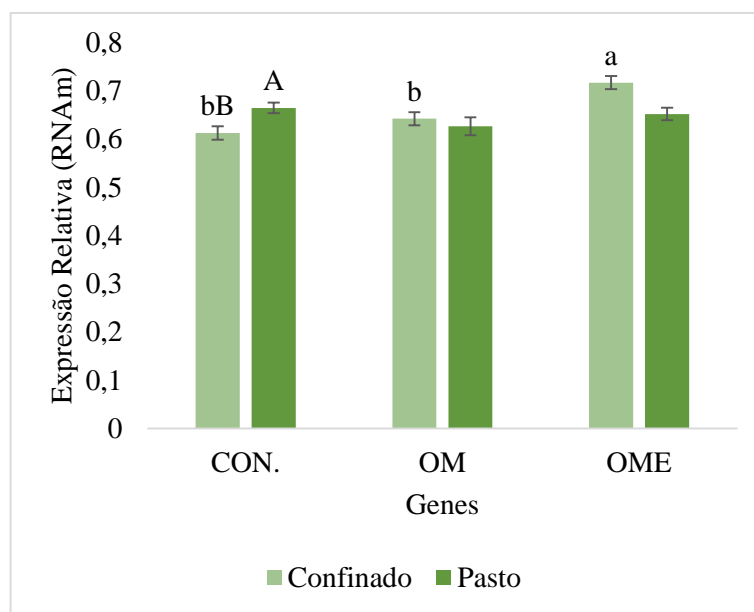


Figura 3. Expressão relativa do gene ELOVL6 para interação entre sistemas de manejo e suplementos. $P = 0,0009$. Médias com letras diferentes maiúsculas diferem ao nível de 5% pelo teste t para um mesmo suplemento. Médias com letras minúsculas diferentes diferem ao nível de 5% pelo teste t para um mesmo sistema de manejo.

Os resultados obtidos para a interação sobre o efeito da suplementação com óleo de Macadâmia e vitamina E no confinamento podem ser mais associados à vitamina E do que ao óleo. Segundo González-Calvo et al. (2015) a suplementação de vitamina E, pode influenciar de forma positiva a expressão do gene ELOVL6, corroborando com os achados no presente

trabalho. Esse gene é responsável por sintetizar a enzima responsável por catalisar a elongação do ácido do palmítico (C16: 0) para ácido esteárico (C18: 0) e a elongação do palmitoleico (c9-C16: 1) para ácido oleico (c11-C18:1) (Green et al., 2010). No presente trabalho, o c11-C18:1 diminuiu, contrariando o resultado encontrado para expressão da ELOVL6 quando os cordeiros foram manejados a pasto recebendo o suplemento controle, porém o C18:0 foi maior (Tabela 7), corroborando com a maior expressão e possivelmente com a maior atividade da ELOVL-6 para esse sistema de manejo, visto que também houve diminuição do C16:0.

No entanto, o fato da expressão dos genes ELOVL6 e SCD-1 não se associar ao aumento de seus produtos no perfil de ácidos graxos é explicável pois a maior expressão de um gene não está necessariamente correlacionada as concentrações de proteínas ou atividades enzimáticas já que inúmeros processos podem ocorrer entre a transcrição e a tradução (González-Calvo et al., 2015; Scherrer, 2018).

3.5. Análise Sensorial

Dos 55 provadores, 78,18% raramente consomem carne ovina e 14,55% pelo menos uma vez ao mês. As características sensoriais (aparência, sabor, textura e impressão global) não foram influenciadas pelo sistema de manejo ($P > 0,05$) (Tabela 10). No entanto, a aparência, a textura e a impressão global foram significativamente afetadas pela inclusão de óleo de Macadâmia, com ou sem vitamina E ($P < 0,05$).

Foi realizado um teste de aceitação para os atributos aparência, sabor, textura e impressão global, os quais foram analisados individualmente com um mapa de preferência interna (IPM) (Figura 4).

A aparência da carne foi mais aceita ($P < 0,05$) quando os cordeiros receberam óleo de Macadâmia independente da adição de vitamina E. De acordo com o mapa de preferência os provadores majoritariamente preferiram a carne de cordeiros manejados a pasto e suplementados com apenas com óleo de Macadâmia, o que pode ter contribuído para melhor aparência.

As diferenças encontradas para textura podem ser associadas ao maior conteúdo de gordura ($P < 0,05$) encontrado na carne quando os cordeiros receberam óleo (Tabela 6), pois receberam melhor nota para esse atributo, esse resultado também pode ser verificado a partir do mapa de preferência, já que os provadores preferiram em primeiro lugar a carne de cordeiros

manejados em confinamento e suplementados apenas com óleo de Macadâmia, seguido pela carne de cordeiros manejados a pasto recebendo o mesmo suplemento. Entretanto, ao adicionar a vitamina E na dieta contendo óleo, a influência da fonte lipídica foi menor. Sañudo et al. (2013) destacaram que a maior quantidade de gordura na carne está diretamente associada a maior maciez e suculência da carne de cordeiro, a qual pode refletir em melhor aceitabilidade do consumidor.

Knapik et al. (2017) relataram que o perfil de ácidos graxos da carne também pode influenciar a textura, maciez e suculência. Esses autores destacam que os níveis de C18:0 e C18:2 n6, devido as diferentes temperaturas de fusão (69,6°C e -5°C respectivamente), podem comprometer a textura e a suculência da carne após cozida, e que níveis maiores de C18:0 contribuem significativamente para melhor textura. Em nosso trabalho observa-se maior quantidade de C18:0 na carne quando cordeiros foram suplementados com óleo de Macadâmia ($P < 0,05$) (Tabela 7).

Houve interação significativa ($P < 0,05$) para o sabor da carne (Tabela 11), e assim, os fatores serão estudados desdobrados para essa característica sensorial.

Observou-se que cordeiros confinados, recebendo óleo de Macadâmia, sem ou com vitamina E, tiveram melhor aceitabilidade sensorial em função da maior nota para o sabor comparado a carne dos animais confinados recebendo dieta sem o óleo, essa mesma aceitabilidade pode ser observada no mapa de preferência, já que os provadores gostaram mais da carne quando os cordeiros foram suplementados com óleo. Esse resultado pode ser associado as maiores ($P < 0,05$) proporções e quantidade (mg/100g músculo) de C18:3 n3 quando os cordeiros foram suplementados com óleo independente da adição de vitamina E (Tabela 9). Costa et al. (2018) destacaram que o aroma e o sabor da carne de cordeiro estão diretamente associados ao perfil de ácidos graxos presente na carne, especialmente a quantidade de poli-insaturados, mas principalmente o C18:3 n3, o qual proporciona melhor sabor, e consequentemente, melhor aceitabilidade pelo consumidor.

Tabela 10. Efeito do sistema de manejo e da suplementação com óleo de Macadâmia e vitamina E sobre a análise sensorial do músculo *Longissimus lumborum* de cordeiros.

Atributo	Sistema de Manejo		Suplemento ¹			EPM ²		P-value ³		
	Confinado	Pasto	CON	OM	OME	MAN	SUP	MAN	SUP	MAN*SUP
Aparência	6,19	6,17	5,94 b	6,54 a	6,06 ab	±0,135	±0,166	0,9270	0,0271	0,4396
Sabor	6,48	6,92	6,41 b	7,05 a	6,64 ab	±0,141	±0,172	0,0304	0,0366	0,0179
Textura	6,98	6,98	6,85 b	7,39 a	6,71 b	±0,119	±0,145	0,9733	0,0320	0,1369
Impressão Global	6,54	6,79	6,43 b	7,09 a	6,47 ab	±0,127	±0,156	0,1694	0,0046	0,0824

¹ Suplementos: CON (Controle); OM (óleo de Macadâmia) e OME (óleo de Macadâmia + vitamina E); ² Erro padrão da média (EPM): MAN: Sistema de manejo e SUP: Suplemento; ³ Médias com letras diferentes nas linhas diferem ao nível de 5% pelo teste t.

Tabela 11. Efeito da interação para o sabor entre sistema de manejo e suplementação com óleo de Macadâmia e vitamina E.

Atributo	Sistema de Manejo	Tratamento ¹			P-value ²
		CON	OM	OME	
Sabor	Confinado	5,85 Bb ±0,319	6,68 Bab ±0,254	6,72 a ±0,313	0,0137
	Pasto	6,97 Aab ±0,307	7,42 Aa ±0,245	6,56 b ±0,297	0,0051
P-value		0,0115	0,0224	0,2842	

¹ Suplementos: CON (Controle); OM (óleo de Macadâmia) e OME (óleo de Macadâmia + vitamina E); ² Médias com letras diferentes maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas diferem ao nível de 5% pelo teste t.

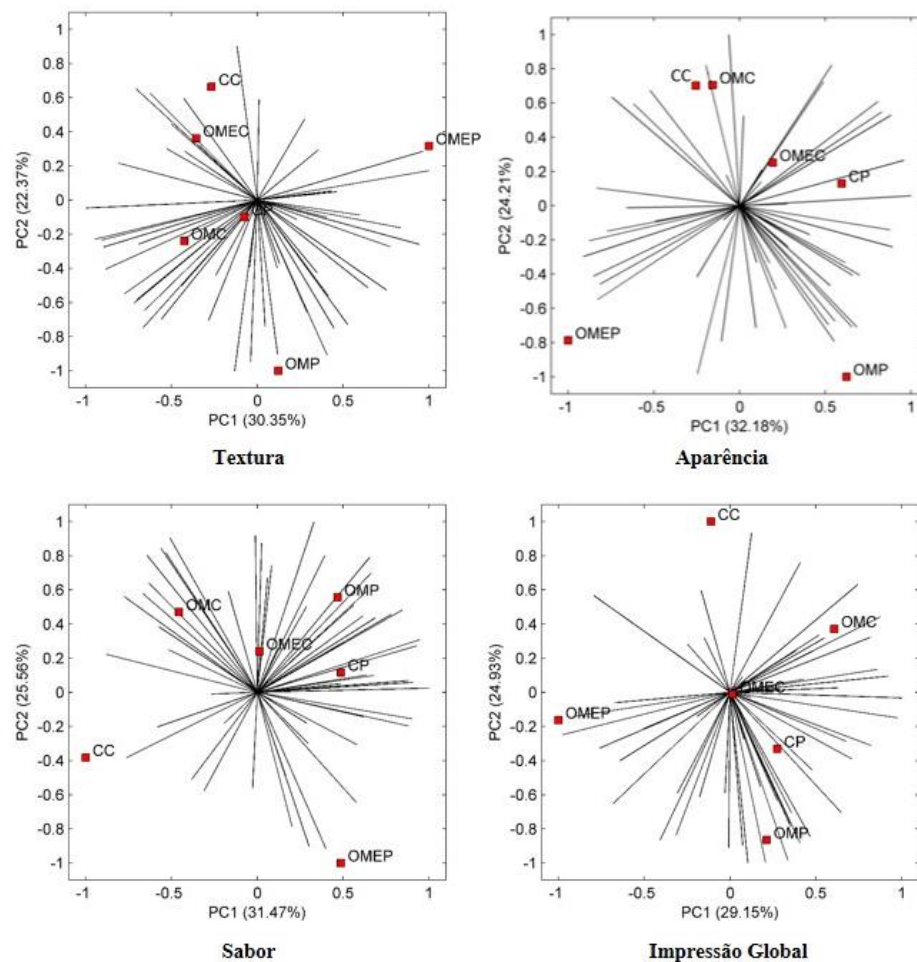


Figura 4. Mapas de preferência interna para textura, aparência, sabor e impressão global da carne de cordeiros em diferentes sistemas de manejo e suplementados com óleo de Macadâmia e vitamina E.

Entretanto, Knapik et al. (2017) destacaram que maiores concentrações de C18:0 e c9-C18:1 estão intimamente associadas ao melhor sabor da carne de cordeiro. No presente trabalho, avaliando de forma isolada cada um desses ácidos graxos (Tabela 8), observou-se que a suplementação com óleo, com ou sem vitamina E, contribuiu para maior quantidade desses ácidos graxos na carne ($P < 0,05$), o que pode ter contribuído para a melhor aceitabilidade da sabor quando os cordeiros foram suplementados com óleo de Macadâmia.

As diferenças encontradas no sabor da carne de cordeiro estão de acordo com os relatos de Bravo-Lamas et al. (2018), os quais descrevem que carnes provenientes de animais manejados em pastagem apresentam menor intensidade de sabor específico da espécie, uma vez que a dieta nesse sistema contribui para a maior proporção de C18:3 n3, o qual não está associado em conferir sabor forte de carneiro. No entanto, observa-se que quando os cordeiros receberam óleo de Macadâmia a aceitabilidade do sabor foi ainda maior. Possivelmente devido

a influência de óleo Macadâmia com ou sem vitamina E aumentar as quantidades de C18:3 n3, C18:0 e c9-C18:1 no músculo ($P < 0,05$) (Tabela 9), sendo esses ácidos graxos associados em conferir melhor a sabor a carne de cordeiro (Costa et., 2018).

Quanto a impressão global, os resultados obtidos indicam uma aceitação moderada dos provadores para a carne de cordeiros recebendo óleo de Macadâmia, e uma ligeira aprovação quando esses receberam as dietas controle ou com óleo e vitamina E (Tabela 10), desgostando consideravelmente da carne de cordeiros manejados em confinamento recebendo o suplemento controle (Figura 4). A aceitação moderada, pode ser associada diretamente as melhores médias obtidas para textura e sabor para a suplementação apenas com óleo, com classificações de “gostei moderadamente”. Do ponto de vista comercial, a aceitação moderada é um indicativo positivo de que os provadores possivelmente recomendariam a carne de animais alimentados com óleo de Macadâmia para o consumo humano (ANDERSON et al., 2009; COSTA et al., 2018; PARODI; LAWRENCE, 2015).

4. CONCLUSÃO

Apesar do elevado custo do óleo de Macadâmia, sua utilização na alimentação de cordeiros independente do sistema de manejo melhora as características sensoriais da carne, como também o perfil de ácidos graxos, mas não influencia a qualidade físico-química da carne.

Cordeiros criados em confinamento produzem carne com melhor qualidade físico-química. No entanto, o sistema de manejo a pasto permite melhorar perfil de ácidos graxos na carne, tornando-a mais saudável ao consumo humano. O sistema de manejo não influencia os aspectos sensoriais e a expressão de genes lipogênicos e lipolíticos.

A vitamina E associada ao óleo de Macadâmia estimula a expressão dos genes SCD-1 e ELOVL6, mas não afeta os genes SREBP-1c e PPAR- α .

Cordeiros confinados recebendo vitamina E e óleo de Macadâmia possuem maior expressão da ELOVL6.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro.

6. REFERÊNCIAS

- Abreu, K. S. F. ., Vérasa, A. S. C. ., Ferreira, M. A. ., Madruga, M. S. ., Maciel, M. I. S. ., Félix, S. C. R. ., ... Urbano, S. A. (2018). Quality of meat from sheep fed diets containing spineless cactus (Nopalea. *Meat Science*, 148(April 2018), 229–235. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2018.04.036>
- Anderson, B. M., & Ma, D. W. L. (2009). Are all n-3 polyunsaturated fatty acids created equal? *Lipids in Health and Disease*, 8, 1–20. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-8-33>
- Aurousseau, B., Bauchart, D., Faure, X., Galot, A. L., Prache, S., Micol, D., & Priolo, A. (2007). Indoor fattening of lambs raised on pasture. Part 1: Influence of stall finishing duration on lipid classes and fatty acids in the longissimus thoracis muscle. *Meat Science*, 76(2), 241–252. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.11.005>
- Bas, P., & Morand-Fehr, P. (2000). Effect of nutritional factors on fatty acid composition of lamb fat deposits, 64, 61–79.
- Bellés, M., del Mar Campo, M., Roncalés, P., & Beltrán, J. A. (2019). Supranutritional doses of vitamin E to improve lamb meat quality. *Meat Science*, 149(November 2018), 14–23. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.11.002>
- Bellés, M., Leal, L. N., Díaz, V., Alonso, V., Roncalés, P., & Beltrán, J. A. (2018). Effect of dietary vitamin E on physicochemical and fatty acid stability of fresh and thawed lamb. *Food Chemistry*, 239, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.076>
- Bezerra, L. S., Barbosa, A. M., Carvalho, G. G. P., Simionato, J. I., Freitas, J. E., Araújo, M. L. G. M. L., ... Carvalho, B. M. A. (2016). Meat quality of lambs fed diets with peanut cake. *Meat Science*, 121, 88–95. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.05.019>
- Blanco, C., Giráldez, J. F., Morán, L., Mateo, J., Villalobos-Delgado, L. H., Andrés, S., & Bodas, R. (2017). Effects of sunflower soap stocks on light lamb meat quality. *Journal of Animal Science*, 95(8), 3455–3466. <https://doi.org/10.2527/jas.2016.1010>
- Bonagurio, S., Ramón, J., Pérez, O., Furusho-garcia, I. F., Leal, C., & Lima, A. L. (2004). Composição Centesimal da Carne de Cordeiros Santa Inês Puros e de seus Mestiços com Texel Abatidos com Diferentes Pesos 1 Meat Centesimal Composition of Purebred Santa Ines Lambs and its Crosses with Texel , Slaughtered at Different Weights. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 2004, 2387–2393.
- Boughalmi, A., & Araba, A. (2016). Effect of feeding management from grass to concentrate feed on growth, carcass characteristics, meat quality and fatty acid profile of Timahdite lamb breed. *Small Ruminant Research*, 144, 158–163. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2016.09.013>
- Bravo-Lamas, L., Barron, L. J. R., Farmer, L., & Aldai, N. (2018). Fatty acid composition of intramuscular fat and odour-active compounds of lamb commercialized in northern Spain. *Meat Science*, 139(April 2017), 231–238. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.02.006>
- Bressan, M. C., Prado, O. V., Pérez, J. R. O., Lemos, A. L. S. C., & Bonagurio, S. (2001). Efeito Do Peso Ao Abate De Cordeiros Santa Inês E Bergamácia Sobre As Características Físico-Químicas Da Carne 1. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 21(3), 293–303. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612002000100003>
- Brito, G. F., Ponnampalam, E. N., & Hopkins, D. L. (2017). The Effect of Extensive Feeding Systems on Growth Rate, Carcass Traits, and Meat Quality of Finishing Lambs. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(1), 23–38. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12230>
- Burns, T. A., Duckett, S. K., Pratt, S. L., & Jenkins, T. C. (2012). Supplemental palmitoleic (C16:1 cis-9) acid reduces lipogenesis and desaturation in bovine adipocyte cultures. *Journal of Animal Science*, 90(10), 3433–3441. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4972>
- Burns, T. A., Kadegowda, A. K. G., Duckett, S. K., Pratt, S. L., & Jenkins, T. C. (2012).

- Palmitoleic (16:1 cis-9) and cis-vaccenic (18:1 cis-11) acid alter lipogenesis in bovine adipocyte cultures. *Lipids*, 47(12), 1143–1153. <https://doi.org/10.1007/s11745-012-3723-9>
- Campbell, E. M. G., Sanders, J. O., Lunt, D. K., Gill, C. A., Taylor, J. F., Davis, S. K., ... Smith, S. B. (2016). Adiposity, lipogenesis, and fatty acid composition of subcutaneous and intramuscular adipose tissues of Brahman and Angus crossbred cattle. *Journal of Animal Science*, 94(4), 1415–1425. <https://doi.org/10.2527/jas2015-9954>
- Chauhan, S. S., Liu, F., Leury, B. J., Cottrell, J. J., Celi, P., & Dunshea, F. R. (2016). Functionality and genomics of selenium and Vitamin E supplementation in ruminants. *Animal Production Science*, 56(8), 1285–1298. <https://doi.org/10.1071/AN15263>
- Chauhan, S. S., Ponnampalam, E. N., Celi, P., Hopkins, D. L., Leury, B. J., & Dunshea, F. R. (2016). High dietary vitamin E and selenium improves feed intake and weight gain of finisher lambs and maintains redox homeostasis under hot conditions. *Small Ruminant Research*, 137, 17–23. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2016.02.011>
- Chikwanha, O. C., Vahmani, P., Muchenje, V., Dugan, M. E. R., & Mapiye, C. (2018). Nutritional enhancement of sheep meat fatty acid profile for human health and wellbeing. *Food Research International*, 104(May 2017), 25–38. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.05.005>
- Cividini, A., Levart, A., Žgur, S., & Kompan, D. (2014). Fatty acid composition of lamb meat from the autochthonous Jezersko-Solčava breed reared in different production systems. *Meat Science*, 97(4), 480–485. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.12.012>
- Clayton, E. H. (2014). *Graham Centre Monograph No. 4: Long-chain omega-3 polyunsaturated fatty acids in ruminant nutrition: benefits to animals and humans*. Eds. T Nugent and C Nicholls, NSW Department of Primary Industries, Wagga Wagga, NSW. Retrieved from http://www.csu.edu.au/research/grahamcentre/research/Pub_downloads/Monograph-Clayton-Omega-3-final.pdf
- Coombs, C., BW, H., MA, F., & DL, H. (2016). Long-term red meat preservation using chilled and frozen storage combinations: A review. *Meat Science*, 125, 84–94.
- Costa JB, Oliveira RL, Silva TM, Barbosa AM, Borja MS, de Pellegrini CB, et al. (2018). Fatty acid , physicochemical composition and sensory attributes of meat from lambs fed diets containing licuri cake. *PLoS ONE*, 1–15. <https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206863>
- D'Alessandro, A. G., Palazzo, M., Petrotos, K., Goulas, P., & Martemucci, G. (2015). Fatty acid composition of light lamb meat from Leccese and Comisana dairy breeds as affected by slaughter age. *Small Ruminant Research*, 127, 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.04.004>
- De Lima Júnior, D. M., Do Nascimento Rangel, A. H., Urbano, S. A., & Moreno, G. M. B. (2013). Oxidação lipídica e qualidade da carne ovina. *Acta Veterinaria Brasilica*, 7(1), 14–28.
- Delmonte, P., Fardin Kia, A. R., Kramer, J. K. G., Mossoba, M. M., Sidisky, L., & Rader, J. I. (2011). Separation characteristics of fatty acid methyl esters using SLB-IL1111, a new ionic liquid coated capillary gas chromatographic column. *Journal of Chromatography A*, 1218(3), 545–554. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2010.11.072>
- Dobrzyn, A., & Ntambi, J. M. (2005). Stearoyl-CoA desaturase as a new drug target for obesity treatment. *Obesity*, 6, 169–174.
- Duckett, S. K., Andrae, J. G., & Owens, F. N. (2002). Effect of high oil corn or added corn oil on ruminal biohydrogenation and conjugated linoleic acid formation. *Journal of Animal Science*, 80(12), 3353–3360. <https://doi.org/10.2527/2002.80123353x>
- Duckett, S. K., Volpi-Lagreca, G., Alende, M., & Long, N. M. (2014). Palmitoleic acid reduces

- intramuscular lipid and restores insulin sensitivity in obese sheep. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity: Targets and Therapy*, 7, 553–563. <https://doi.org/10.2147/DMSO.S72695>
- Enjalbert, F., Combes, S., Zened, A., & Meynadier, A. (2017). Rumen microbiota and dietary fat: a mutual shaping. *Journal of Applied Microbiology*, 123(4), 782–797. <https://doi.org/10.1111/jam.13501>
- Fabre, R., Dalzotto, G., Perlo, F., Bonato, P., Teira, G., & Tisocco, O. (2018). Cooking method effect on Warner-Bratzler shear force of different beef muscles. *Meat Science*, 138(December 2017), 10–14. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.12.005>
- Ferdaoussi, M., Bergeron, V., Zarrouki, B., Kolic, J., Cantley, J., Fielitz, J., ... Poitout, V. (2012). G protein-coupled receptor (GPR)40-dependent potentiation of insulin secretion in mouse islets is mediated by protein kinase D1. *Diabetologia*, 55(10), 2682–2692. <https://doi.org/10.1007/s00125-012-2650-x>
- Fiorentini, G., Carvalho, I. P. C., Messana, J. D., Canesin, R. C., Castagnino, P. S., Lage, J. F., ... Berchielli, T. T. (2015). Effect of lipid sources with different fatty acid profiles on intake, nutrient digestion and ruminal fermentation of feedlot Nelore steers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 28(11), 1583–1591. <https://doi.org/10.5713/ajas.15.0130>
- Folch, J., Lees, M., & Stanley, G. H. S. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J Biol Chem*. <https://doi.org/10.1007/s10858-011-9570-9>
- Foretz, M., Even, P. C., & Viollet, B. (2018). AMPK activation reduces hepatic lipid content by increasing fat oxidation in vivo. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(9). <https://doi.org/10.3390/ijms19092826>
- Gallo, S. B., & Siqueira, E. R. De. (2007). Efeito da nutrição da ovelha e do cordeiro sobre o perfil de ácidos graxos do músculo Triceps brachii de cordeiros 1 Effect the sheep and lamb nutrition on the of Triceps brachii muscle fatty acid profile of the lambs. *Revista Brasileira de Zootecnia*, (2000).
- González-Calvo, L., Joy, M., Blanco, M., Dervishi, E., Molino, F., Sarto, P., ... Calvo, J. H. (2015). Effect of vitamin E supplementation or alfalfa grazing on fatty acid composition and expression of genes related to lipid metabolism in lambs. *Journal of Animal Science*, 93(6), 3044–3054. <https://doi.org/10.2527/jas2014-8758>
- Green, C. D., Ozguden-Akkoc, C. G., Wang, Y., Jump, D. B., & Olson, L. K. (2010). Role of fatty acid elongases in determination of de novo synthesized monounsaturated fatty acid species. *Journal of Lipid Research*, 51(7), 1871–1877. <https://doi.org/10.1194/jlr.M004747>
- Gunawan, A., Jakaria, Listyarini, K., Furqon, A., Sumantri, C., Akter, S. H., & Uddin, M. J. (2018). Transcriptome signature of liver tissue with divergent mutton odour and flavour using RNA deep sequencing. *Gene*, 676(June), 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2018.06.086>
- Hara, A., & Radin, N. S. (1978). Lipid extraction of tissues with a low toxicity solvent. *Analytical Biochemistry*, 90(1), 420–426. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(78\)90046-5](https://doi.org/10.1016/0003-2697(78)90046-5)
- Health, H., & Holman, R. T. (1998). Symposium : Evolution of Ideas about the Nutritional Value of Dietary Fat The Slow Discovery of the Importance of v 3 Essential Fatty Acids in. *JN The Journal of Nutrition*, 0022–3166/(the slow discovery of the importance of omega3 essential fatty acids in huamn health), 427–433.
- Hoffman, N. J., Penque, B. A., Habegger, K. M., Sealls, W., Tackett, L., & Elmendorf, J. S. (2014). Chromium enhances insulin responsiveness via AMPK. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 25(5), 565–572. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2014.01.007>
- Holman, B. W. B., van de Ven, R. J., Mao, Y., Coombs, C. E. O., & Hopkins, D. L. (2017).

- Using instrumental (CIE and reflectance) measures to predict consumers' acceptance of beef colour. *Meat Science*, *127*, 57–62. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.01.005>
- Hou, J., Wang, F., Wang, Y., & Liu, F. (2013). Effects of vitamin E on the concentration of conjugated linoleic acids and accumulation of intermediates of ruminal biohydrogenation in vitro. *Small Ruminant Research*, *111*(1–3), 63–70. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.09.015>
- Howes, N. L., Bekhit, A. E. D. A., Burritt, D. J., & Campbell, A. W. (2015). Opportunities and Implications of Pasture-Based Lamb Fattening to Enhance the Long-Chain Fatty Acid Composition in Meat. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *14*(1), 22–36. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12118>
- Hunter, J. E., Zhang, J., & Kris-Etherton, P. M. (2010). Cardiovascular disease risk of dietary stearic acid compared with trans, other saturated, and unsaturated fatty acids: A systematic review. *American Journal of Clinical Nutrition*, *91*(1), 46–63. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.27661>
- Jiang, J., & Xiong, Y. L. (2016). Natural antioxidants as food and feed additives to promote health benefits and quality of meat products: A review. *Meat Science*, *120*, 107–117. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.005>
- Kadim, I. T., Mahgoub, Alkindi, A. Y., Al-Marzooqi, W., Al-Saqri, N. M., Almaney, M., & Mahmoud, I. Y. (2007). Effect of transportation at high ambient temperatures on physiological responses, carcass and meat quality characteristics in two age groups of omani heep. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *20*(3), 424–431. <https://doi.org/10.5713/ajas.2007.424>
- Kim, Y. H. B., Warner, R. D., & Rosenvold, K. (2014). Influence of high pre-rigor temperature and fast pH fall on muscle proteins and meat quality: a review. *Animal Production Science*, *54*, 375–395.
- Kjøbsted, R., Hingst, J. R., Fentz, J., Foretz, M., Sanz, M. N., Pehmøller, C., ... Lantier, L. (2018). AMPK in skeletal muscle function and metabolism. *FASEB Journal*, *32*(4), 1741–1777. <https://doi.org/10.1096/fj.201700442R>
- Knapik, J., Ropka-Molik, K., & Pieszka, M. (2017). Genetic and Nutritional Factors Determining the Production and Quality of Sheep Meat – A Review. *Annals of Animal Science*, *17*(1), 23–40. <https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0036>
- Ladeira, M. M., Schoonmaker, J. P., Swanson, K. C., Duckett, S. K., Gionbelli, M. P., Rodrigues, L. M., & Teixeira, P. D. (2018). Review: Nutrigenomics of marbling and fatty acid profile in ruminant meat. *Animal*. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001933>
- Madruca, M. S., De Araújo, W. O., De Sousa, W. H., Cézar, M. F., Galvão, M. D. S., & Cunha, M. D. G. G. (2006). Effect of genotype and sex on chemical composition and fatty acid profile of sheep meat | Efeito do genótipo e do sexo sobre a composição química e o perfil de ácidos graxos da carne de cordeiros. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *35*(4 SUPPL.), 1838–1844. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000600035>
- Margetín, M., Oravcová, M., Margetínová, J., & Kubinec, R. (2018). Fatty acids in intramuscular fat of Ile de France lambs in two different production systems. *Archives Animal Breeding*, *61*(4), 395–403. <https://doi.org/10.5194/aab-61-395-2018>
- Maro, L. A. C., Pio, R., Penoni, E. dos S., Oliveira, M. C. de, Prates, F. C., Lima, L. C. de O., & Cardoso, M. das G. (2012). Caracterização química e perfil de ácidos graxos em cultivares de nogueira-macadâmia. *Ciência Rural*, *42*(12), 2166–2171. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000117>
- McDowell, L. R., Williams, S. N., Hidiroglou, N., Njeru, C. A., Hill, G. M., Ochoa, L., & Wilkinson, N. S. (1996). Vitamin E supplementation for the ruminant. *Animal Feed Science Technology*, *60*(96), 273–296. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(96\)00982-0](https://doi.org/10.1016/0377-8401(96)00982-0)
- Miranda-de la Lama, G. C., Villarroel, M., Olleta, J. L., Alierta, S., Sañudo, C., & Maria, G. A.

- (2009). Effect of the pre-slaughter logistic chain on meat quality of lambs. *Meat Science*, 83(4), 604–609. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.07.009>
- Morgado, A. A., Nunes, G. R., Bôas, B. R. V., Carvalho, P. B. J., Rodrigues, P. H. M., Susin, I., ... Pereira, A. S. C. (2018). Meat quality of lambs supplemented with intramuscular vitamin E. *Pesquisa Veterinaria Brasileira*, 38(4), 679–684. <https://doi.org/10.1590/1678-5150-PVB-5128>
- Navarro, S. L. B., & Rodrigues, C. E. C. (2016). Macadamia oil extraction methods and uses for the defatted meal byproduct. *Trends in Food Science and Technology*, 54, 148–154. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.04.001>
- NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL. (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle*.
- NRC, R. N. R. C. (US). C. on N. R. of S. (2007). *Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new*.
- OSÓRIO, J.C.S.; OSÓRIO, M. T. M. (2014). Produção e Qualidade de Carne Ovina. In J. C. S. SELAIVE-VILLARROEL, A.B.; OSÓRIO (Ed.), *Produção de Ovinos no Brasil* (1ª edição, pp. 399–445). São Paulo-SP.
- Parodi, P. W., & Lawrence, A. (2015). Dietary guidelines for saturated fatty acids are not supported by the evidence. *International Dairy Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2010.03.014>
- Pfaffl, M. W. (2001). A new mathematical model for relative quantification in real-time RT-PCR. *Nucleic Acids Research*, 29(9), 45e–45. <https://doi.org/10.1093/nar/29.9.e45>
- Poitout, V. (2018). Fatty Acids and Insulin Secretion: From FFAR and Near? *Diabetes*, 67(10), 1932–1934. <https://doi.org/10.2337/dbi18-0027>
- Ponnampalam, E. N., Hopkins, D. L., Bruce, H., Li, D., Baldi, G., & Bekhit, A. E. din. (2017). Causes and Contributing Factors to “Dark Cutting” Meat: Current Trends and Future Directions: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(3), 400–430. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12258>
- Priolo, A., Micol, D., Agabriel, J., Prache, S., & Dransfield, E. (2002). Effect of grass or concentrate feeding systems on lamb carcass and meat quality. *Meat Science*, 62(2), 179–185. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(01\)00244-3](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(01)00244-3)
- Ricardo, H. A., Fernandes, A. R. M., Mendes, L. C. N., Oliveira, M. A. G., Protes, V. M., Scatena, E. M., ... Alves, L. G. C. (2015). Carcass traits and meat quality differences between a traditional and an intensive production model of market lambs in Brazil: Preliminary investigation. *Small Ruminant Research*, 130, 141–145. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.07.007>
- Ripoll, G., González-Calvo, L., Molino, F., Calvo, J. H., & Joy, M. (2013). Effects of finishing period length with vitamin E supplementation and alfalfa grazing on carcass color and the evolution of meat color and the lipid oxidation of light lambs. *Meat Science*, 93(4), 906–913. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.09.017>
- Russell, J. B., Muck, R. E., & Weimer, P. J. (2009). Quantitative analysis of cellulose degradation and growth of cellulolytic bacteria in the rumen. *FEMS Microbiology Ecology*, 67(2), 183–197. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2008.00633.x>
- Russo, G. L. (2009). Dietary n - 6 and n - 3 polyunsaturated fatty acids: From biochemistry to clinical implications in cardiovascular prevention. *Biochemical Pharmacology*, 77(6), 937–946. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2008.10.020>
- Saini, R. K., & Keum, Y.-S. (2018). Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids: Dietary sources, metabolism, and significance — A review. *Life Sciences*, 203(January), 255–267. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2018.04.049>
- Sañudo, C., Alfonso, M., Sánchez, A., Delfa, R., & Teixeira, A. (2000). Carcass and meat quality in light lambs from different fat classes in the EU carcass classification system. *Meat Science*, 56(1), 89–94. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(00\)00026-7](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(00)00026-7)

- Sañudo, C., Muela, E., & Del Mar Campo, M. (2013). Key factors involved in lamb quality from farm to fork in Europe. *Journal of Integrative Agriculture*, 12(11), 1919–1930. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60629-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60629-2)
- Schäfers, S., Meyer, U., von Soosten, D., Krey, B., Hüther, L., Tröscher, A., ... Dänicke, S. (2018). Influence of vitamin E on organic matter fermentation, ruminal protein and fatty acid metabolism, protozoa concentrations and transfer of fatty acids. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, (May), 1111–1119. <https://doi.org/10.1111/jpn.12929>
- Scherrer, K. (2018). Primary transcripts: From the discovery of RNA processing to current concepts of gene expression - Review. *Experimental Cell Research*, 373(1–2), 1–33. <https://doi.org/10.1016/j.yexcr.2018.09.011>
- Scollan, N. D., Price, E. M., Morgan, S. A., Huws, S. A., & Shingfield, K. J. (2017). Can we improve the nutritional quality of meat? *Proceedings of the Nutrition Society*, (July 2015), 1–16. <https://doi.org/10.1017/S0029665117001112>
- Smith, S. B., Gill, C. A., Lunt, D. K., & Brooks, M. A. (2009). Regulation of fat and fatty acid composition in beef cattle. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 22(9), 1225–1233. <https://doi.org/10.5713/ajas.2009.r.10>
- Souza, C. O., Teixeira, A. A. S., Biondo, L. A., Silveira, L. S., Calder, P. C., & Rosa Neto, J. C. (2017). Palmitoleic acid reduces the inflammation in LPS-stimulated macrophages by inhibition of NFκB, independently of PPARs. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 44(5), 566–575. <https://doi.org/10.1111/1440-1681.12736>
- Souza, C. O., Vannice, G. K., Rosa Neto, J. C., & Calder, P. C. (2018). Is Palmitoleic Acid a Plausible Nonpharmacological Strategy to Prevent or Control Chronic Metabolic and Inflammatory Disorders? *Molecular Nutrition and Food Research*, 62(1), 1–12. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201700504>
- Tarladgis, B. G., Watts, B. M., & Yonathan, M. (1960). Distillation method for the determination of malonaldehyde in rancid foods. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 37(1), 44–48.
- Toral, P. G., Monahan, F. J., Hervás, G., Frutos, P., & Moloney, A. P. (2018). Review: Modulating ruminal lipid metabolism to improve the fatty acid composition of meat and milk. Challenges and opportunities. *Animal*. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001994>
- Tsuchiya, A., Nagaya, H., Kanno, T., & Nishizaki, T. (2014). Oleic Acid Stimulates Glucose Uptake Into Adipocytes by Enhancing Insulin Receptor Signaling. *Journal of Pharmacological Sciences*, 126(4), 337–343. <https://doi.org/10.1254/jphs.14182FP>
- Ulbricht, T. L. V., & Southgate, D. A. T. (1991). Coronary heart disease: seven dietary factors. *The Lancet*, 338, 985–992. [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(91\)91846-M](https://doi.org/10.1016/0140-6736(91)91846-M)
- Urano, F. S., Pires, A. V., Susin, I., Mendes, C. Q., Rodrigues, G. H., De Araujo, R. C., & Mattos, W. R. S. (2006). Desempenho e características da carcaça de cordeiros confinados alimentados com grãos de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(10), 1525–1530. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006001000010>
- Valente, T. N. P., Detmann, E., Queiroz, A. C., Valadares Filho, S. C., Gomes, D. I., & Figueiras, J. F. (2011). Evaluation of ruminal degradation profiles of forages using bags made from. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 57, 2565–2573.
- Watkins, P. J., Frank, D., Singh, T. K., Young, O. A., & Warner, R. D. (2013). Sheepmeat flavor and the effect of different feeding systems: A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(15), 3561–3579. <https://doi.org/10.1021/jf303768e>
- Wood, J. D., Enser, M., Fisher, A. V., Nute, G. R., Sheard, P. R., Richardson, R. I., ... Whittington, F. M. (2008). Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science*, 78(4), 343–358. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.019>
- Wood, J. D., Richardson, R. I., Nute, G. R., Fisher, A. V., Campo, M. M., Kasapidou, E., ... Enser, M. (2004). Effects of fatty acids on meat quality: A review. *Meat Science*, 66(1),

21–32. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(03\)00022-6](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(03)00022-6)

Yu, E. A., Hu, P. J., & Mehta, S. (2018). Plasma fatty acids in de novo lipogenesis pathway are associated with diabetogenic indicators among adults: NHANES 2003-2004. *American Journal of Clinical Nutrition*, *108*(3), 622–632. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqy165>