

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
CURSO DE DOUTORADO**

**EFEITO DA NUTRIÇÃO NO PERFIL LIPÍDICO DA
GORDURA E CARNE SUÍNA**

Stephan Alexander da Silva Alencar

**CAMPO GRANDE, MS
2020**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
CURSO DE DOUTORADO**

**EFEITO DA NUTRIÇÃO NO PERFIL LIPÍDICO DA
GORDURA E CARNE SUÍNA**

Stephan Alexander da Silva Alencar

Orientador: Prof. Dr. Charles Kiefer

Coorientadora: Profa. Dra. Karina Márcia Ribeiro de Souza Nascimento

Coorientador: Prof. Dr. Luiz Henrique Viana

Tese apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito à obtenção do título de Doutor em Ciência Animal.

Área de concentração: Produção Animal.

CAMPO GRANDE, MS
2020

Certificado de aprovação

Stephan Alexander da Silva Alencar

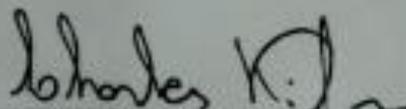
Efeito da nutrição no perfil lipídico da gordura e carne suína

Effect of nutrition on the lipid profile of fat and pork

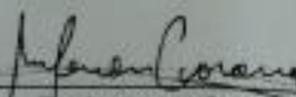
Tese apresentada à
Universidade Federal de Mato Grosso
do Sul, como requisito à obtenção do
título de Doutor em Ciência Animal.

Aprovado(a) em: 27-02-2020

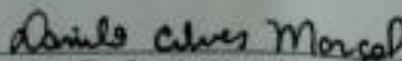
BANCA EXAMINADORA:



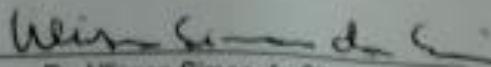
Dr. Charles Kiefer
Orientador (UFMS)



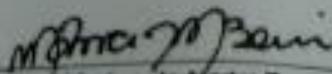
Dr. Anderson Corassa
(UFMT)



Dr. Danilo Alves Marçal
(UNESP)



Dr. Ulisses Simon da Silva
(UEMS)



Dra. Marina de Nádal Bonin Gomes
(UFMS)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Rubens Jorge Alencar e Maria de Fátima da Silva, e aos meus irmãos Diego Gabriel da Silva e Rubens Jorge Alencar Filho, que são a minha base, exemplo e grande orgulho, pelo incentivo de todas as horas, apoio incondicional e por me tornarem quem eu sou hoje.

A minha noiva Luiza Regina Campos Dalpiaz, minha referência, meu incentivo, exemplo de dedicação, e que de forma especial e carinhosa sempre me dá força e coragem, me apoiando inclusive nos momentos mais difíceis dessa caminhada.

Em especial ao Prof. Dr. Charles Kiefer, pela orientação, incentivo, ensinamentos, paciência, dedicação no ensino, grande apoio, por ser um exemplo de profissional e principalmente pela confiança depositada em mim durante todo esse período.

A Prof. Dr. Karina Márcia Ribeiro de Souza Nascimento, pela orientação, dedicação no ensino, grande ajuda e incentivo durante todo esse período.

Ao Prof. Dr. Michael Ellis, pela orientação, paciência e por ter me oferecido diversas oportunidades durante o período do Doutrado Sanduíche.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de Doutorado e Doutorado “Sanduíche” (Código de Financiamento 001).

A Profa. Dra. Maria da Graça Morais e ao Prof. Dr. Luiz Henrique Viana, por abrirem as portas dos seus laboratórios para as análises.

Ao Prof. Dr. Anderson Corassa, Prof. Dr. Ulisses Simon da Silveira, Profa. Dra. Marina de Nadai Bonin Gomes e Dr. Danilo Alves Marçal pela participação na banca e ótimas contribuições oferecidas ao meu trabalho que o enriqueceram grandemente.

A técnica de laboratório Adriana Garabini e aos Doutorandos Joyce Barbosa e Leandro Cavalheiro por me tirarem dúvidas e me auxiliarem nas análises.

A todos do setor de Suinocultura que me ajudaram muito em todos os momentos, tornaram tudo mais fácil e possibilitaram o término de todas as análises, sendo eles a Ariadne Maria Portilho Saturnino da Silva, Rodrigo Caetano de Abreu, Danilo Alves Marçal, Taynah Vieira Aguiar Farias, Alexandre Pereira dos Santos, Jéssica Lira da Silva, Camilla Mendonça Silva, Gabriela Puhl Rodrigues, Kelly Cristina Nunes Carvalho, Luciana Moura Rufino, Patricia Gomes Santana, Gislaine da Cunha Andrade, Bruna D'Avila Teodoro, Indira Daiane Santos, Luana Cristiane dos Santos, Elenice dos Santos Garbin, Débora Martinez Rodrigues, Denise de Santana Lima, Letícia Nantes de Souza e Nicacia Monteiro de Oliveira.

A todos meus amigos que fiz durante o período de graduação e continuaram a me acompanhar, de perto ou até de longe, durante toda minha jornada no Doutorado e tornaram esse período mais fácil, em especial ao Henrique Barbosa de Freitas, Alberto de Oliveira Gaspar, Anderson Luiz de Lucca Bento, Raizza Fátima Abadia Tulux Rocha, Aldo Felipe Fava, Jonathan Coimbra Carvalho, Bruno Ruiz Vida e Luanna Lopes Paiva.

Ao secretário da pós-graduação Ricardo de Oliveira Santos, que sempre foi muito prestativo, companheiro e parceiro, estando sempre disposto a ajudar quando precisávamos, tornando-se um grande amigo.

Aos amigos, pós-graduandos do Laboratório do Prof. Dr. Michael Ellis na UIUC, Ovidio Bautista, Jenny Morris, Andres Tolosa, Heath Harper, Caleb Grohmann, Katherine Vande Pol e Naomi Cooper, e a equipe da empresa The Maschhoffs, Caleb Shull e Katie Brown, pelos ensinamentos, companheirismo, paciência e confiança durante o período do Doutorado Sanduíche.

Ao programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, pela oportunidade da realização do curso.

Resumo

ALENCAR, S.A.S. Efeito da nutrição no perfil lipídico da gordura e carne suína. 2020. 88f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2020.

Devido as exigências dos consumidores com relação aos produtos que consomem, a cadeia produtiva da suinocultura tem concentrado seus esforços em meios de reduzir a quantidade total de gordura depositada. Além disso, devido a associação do perfil lipídico com a saúde humana, pesquisas são direcionadas a entender como ocorre a deposição de ácidos graxos na carcaça dos animais. Foram realizados dois estudos com o objetivo de avaliar o efeito de níveis de uma fonte lipídica (óleo de soja) e período de utilização do cromo na dieta de suínos. No Artigo 1 foi avaliado efeito do nível de inclusão do óleo de soja na dieta no perfil lipídico da gordura suína. Avaliou-se o desempenho zootécnico e amostras de carcaças provenientes de 48 fêmeas suínas, da mesma linhagem genética, submetidas a seis níveis de inclusão de óleo de soja (0,0; 1,086; 2,173; 3,259; 4,345 e 5,432 %). O delineamento experimental foi em blocos casualizado com seis tratamentos, e quatro repetições constituídas por dois animais cada. Foram analisados os perfis lipídicos da gordura subcutânea e da gordura do músculo longissimus lumborum por cromatografia gasosa. O aumento do nível de óleo de soja não influenciou o peso final, ganho de peso diário e consumo diário, mas melhorou a conversão alimentar. A inclusão do óleo de soja modificou o perfil lipídico da gordura subcutânea e da carne, proporcionando redução dos ácidos graxos saturados e monoinsaturados, aumento da concentração dos ácidos graxos poli-insaturados, principalmente do ácido linoleico e ácido α -linolênico. Houve diminuição dos índices aterogênico e trombogênico, e da relação ômega 6: ômega 3 na gordura subcutânea e da carne em função do aumento da inclusão de óleo de soja na dieta dos animais. O nível de inclusão de óleo de soja na dieta dos suínos influencia o perfil lipídico da gordura subcutânea e da carne, com menor efeito neste último. No Artigo 2 foi avaliado o período de suplementação do cromo levedura no perfil lipídico da gordura suína. Foram avaliadas amostras de carcaças provenientes de 40 suínos machos castrados, da mesma linhagem genética, suplementados com 0,4 mg kg⁻¹ de cromo levedura por quatro períodos de fornecimento (0, 38, 62 e 94 dias antes do abate). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com quatro tratamentos, dez repetições, sendo cada unidade experimental constituída por um animal. Foram analisados os perfis lipídicos da gordura subcutânea e da gordura da carne do músculo

longissimus lumborum por meio da cromatografia gasosa. O aumento do período de suplementação do cromo levedura teve efeito quadrático ($P < 0,05$) para os ácidos graxos esteárico e oleico, e o total de ácidos graxos saturados, monoinsaturados e insaturados na gordura subcutânea. Os ácidos graxos DH- γ -linolênico e araquidônico reduziram conforme se aumentou o período de suplementação do cromo levedura. Na carne, houve efeito quadrático ($P < 0,05$) apenas para o ácido graxo γ -linoleico. A suplementação de cromo levedura por diferentes períodos influencia o perfil lipídico da gordura subcutânea e da carne do músculo longissimus lumborum, com menor efeito neste último.

Palavras-chave: ácidos graxos, cromo, índice aterogênico, índice trombogênico, óleo de soja, ômega 3, ômega 6

Abstract

ALENCAR, S.A.S. Nutrition effect on lipid profile of fat and pork. 2020. 88p. Thesis – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2020.

Due to consumer demands regarding the products they consume, the swine production chain has focused its efforts on ways to reduce the total amount of fat deposited. In addition, due to the association of the lipid profile with human health, research is aimed at understanding how the deposition of fatty acids occurs in the animals' carcasses. Two studies were carried out with the objective of evaluating the levels of a lipid source (soybean oil) and the use period of chromium in the pig diet. In Article 1, the study was conducted to evaluate the effect of soybean oil level on the fatty acid profile of backfat and longissimus lumborum muscle of gilts. Forty-eight gilts of the same lineage were subjected to one of the following six dietary soybean oil inclusions (0.0; 1.086; 2.173; 3.259; 4.345 e 5.432 %). Experimental design was completely randomized with six treatments, and four replicates of two animals each. It was evaluated the performance and lipid profiles of backfat and longissimus lumborum muscle by gas chromatography. Increasing dietary soybean oil levels did not influence final weight, daily weight gain and daily feed intake, but improved feed to gain ratio. The inclusion of soybean oil modified the lipid profile of backfat and muscle, reduced saturated and monounsaturated fatty acids and increased polyunsaturated fatty acids concentration, mainly linoleic and α -linolenic acids. Increasing dietary soybean oil inclusion decreased atherogenic and thrombogenic indexes, and the omega-6:omega-3 ratio of the backfat and muscle. The level of soybean oil in pigs' diets influenced backfat and longissimus lumborum lipid profile, with a lower effect in the muscle. In Article 2, the study was conducted to evaluate the period of chromium yeast supplementation on lipid profile of backfat and longissimus lumborum muscle of barrows. Samples from the carcass of forty barrows of the same lineage and previously supplemented with 0.4 mg kg^{-1} of chromium yeast in one of four periods (0, 38, 62 and 94 days before slaughter). The experimental design was completely randomized with four treatments, ten replicates, and each experimental unit consisting of one animal. Lipid profiles of backfat and longissimus lumborum muscle were analyzed by gas chromatography. The increase in the period of chromium yeast use had a quadratic effect ($P < 0.05$) for stearic and oleic fatty acids, and total saturated, monounsaturated and unsaturated fatty acids in backfat. DH- γ -linolenic and arachidonic fatty acids reduced when the period of chromium yeast use

increased. In the meat, there was a quadratic effect ($P < 0.05$) only in the γ -linoleic fatty acid. The use of chromium yeast for different periods influences the lipid profile of the backfat and the longissimus lumborum muscle, with less effect on meat.

Keywords: atherogenic index, chromium, fatty acids, ω 3, ω 6, soybean oil, thrombogenic index

Lista de ilustrações

REVISÃO DE LITERATURA

Figura 1 – Origem dos ácidos graxos mais importantes na gordura suína.....	15
Figura 2 – Via da biossíntese dos ácidos graxos poli-insaturados.....	16

Lista de tabelas

REVISÃO DE LITERATURA

Tabela 1 – Composição dos ácidos graxos (%) da carne de bovinos, suínos e frango.....	17
Tabela 2 – Efeito da suplementação de cromo sobre o perfil de ácidos graxos da gordura de suínos em relação ao tratamento controle.....	37

ARTIGO 1

Tabela 1 – Composição centesimal e nutricional das dietas experimentais nas diferentes fases.....	57
Tabela 2 – Desempenho de fêmeas suínas nas fases de crescimento e terminação alimentadas com diferentes níveis de óleo de soja.....	60
Tabela 3 – Perfil de ácidos graxos (% do total) da gordura subcutânea e da gordura da carne de fêmeas suínas alimentadas com diferentes níveis de óleo de soja.....	61
Tabela 4 – Equações de regressão do perfil de ácidos graxos na gordura subcutânea e da carne de fêmeas suínas alimentadas com diferentes níveis de óleo de soja.....	62

ARTIGO 2

Tabela 1 – Composição das dietas experimentais dos 26 aos 105 kg.....	76
Tabela 2 – Perfil de ácidos graxos (% do total) da gordura subcutânea e da carne de suínos alimentados por diferentes períodos com cromo levedura antes do abate.....	81
Tabela 3 – Atividade das enzimas na gordura subcutânea e na carne de suínos alimentados com cromo levedura por diferentes períodos antes do abate.....	82

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	12
1 Ácidos graxos da gordura suína.....	13
2 Ácidos graxos na dieta humana.....	19
3 Modificação dos ácidos graxos.....	23
3.1 Fontes lipídicas e ácidos graxos.....	30
3.2 Cromo e ácidos graxos.....	35
REFERÊNCIAS.....	39
Nível lipídico da dieta no perfil de ácidos graxos da gordura suína.....	53
Resumo.....	53
Abstract.....	54
Introdução.....	55
Material e Métodos.....	56
Resultados.....	59
Discussão.....	62
Conclusões.....	68
Referências.....	68
Período da suplementação do cromo levedura no perfil lipídico da gordura suína.....	72
Resumo.....	72
Abstract.....	73
Introdução.....	74
Material e Métodos.....	75
Resultados.....	78
Discussão.....	79
Conclusões.....	85
Referências.....	86
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	91

INTRODUÇÃO

A carne suína é um alimento de grande preferência na alimentação pela sua ótima qualidade nutricional, pois é fonte de proteína de elevado valor biológico, devido ao seu perfil de aminoácidos, vitaminas do complexo B e minerais (Caldara et al., 2018). Entretanto, as escolhas dos consumidores têm sido cada vez mais específicas por alimentos nutritivos, atraentes, seguros, livres de conservantes sintéticos ou aditivos alimentares e saudáveis (Jaturasitha et al., 2016).

Dentro dos componentes da carne, a gordura é um dos poucos elementos que pode ser modificado em quantidade e composição e, por isso, estão sendo feitos esforços contínuos para reduzir suas associações com doenças e efeitos prejudiciais à saúde, e buscar novas oportunidades de venda (Mapiye et al., 2012).

Nos últimos tempos atenção especial foi dada a composição de ácidos graxos da gordura proveniente da carcaça suína, uma vez que está associada com a saúde humana (Ahmed et al., 2016). Sabe-se também que o conteúdo de ácidos graxos da gordura possui impacto na qualidade da carne, afetando a transformação tecnológica e as características organolépticas (Kloareg et al., 2005).

Por isso, os estudos sobre mudanças no perfil lipídico da gordura suína ocorrem por dois principais motivos: a necessidade de identificar quais fatores alteram o perfil lipídico e podem em seguida prejudicar/melhorar a qualidade ou o processamento da carne em outros produtos e formas de alterar ou obter um perfil lipídico da gordura mais saudável aos consumidores.

As pesquisas se concentram em avaliar os diversos fatores com capacidade de influenciar no conteúdo de ácidos graxos da gordura suína, como a raça, sexo e a dieta do animal, sendo este último o de maior impacto sobre o perfil lipídico (Juarez et al., 2016). Dentro da dieta, existem ainda estudos a serem realizados sobre a utilização das diferentes fontes lipídicas na alimentação, e ainda existem muitas dúvidas sobre os efeitos dos aditivos, em especial a suplementação do cromo, sobre essas características.

Neste contexto, realizou-se esse estudo para discutir as principais informações sobre como ocorre a deposição de gordura na carcaça dos suínos, qual o impacto da gordura na saúde humana e quais os principais fatores que podem contribuir com as modificações do perfil lipídico da gordura.

1 Ácidos graxos da gordura suína

Os principais componentes orgânicos presentes nos alimentos, como carboidratos, proteína e lipídios, fornecem energia para a manutenção dos processos vitais e para o crescimento dos tecidos corporais. Porém, sabe-se que à medida que os suínos amadurecem, uma proporção crescente da energia é armazenada na forma de gordura na carcaça do animal (McDonald et al., 2010). A gordura se acumula em maior proporção principalmente quando a ingestão de energia é superior às exigências, e são mobilizadas para a oxidação quando a energia dietética é limitante (Mapiye et al., 2012).

A deposição dessa gordura ocorre em diferentes locais do animal, podendo ser dividido em três categorias principais: a gordura visceral, gordura subcutânea e gordura associada ao músculo. Esta última pode ser dividida ainda em gordura inter e intramuscular, também conhecida como marmoreio. De acordo com as fases de crescimento do animal, primeiro ocorre o depósito de gordura nas vísceras, seguidos pela gordura subcutânea e intermuscular, e por último, na gordura intramuscular (Davies e Pryor, 1977).

A gordura subcutânea de suínos pode ser dividida em três camadas individuais. A camada externa se desenvolve mais precocemente e tem uma proporção maior de ácidos graxos insaturados do que as outras duas camadas. Por outro lado, a camada do meio e a interna, se desenvolvem por último mas a uma taxa mais rápida que a camada externa. E a camada média apresenta maior atividade lipogênica, resultando em maior deposição de ácidos graxos saturados (Apple et al., 2009b).

A gordura, de modo geral, exerce várias funções no corpo do animal, servindo como isolante térmico e principalmente como forma de armazenamento da energia que não foi utilizada. Além disso, tem grande importância na composição da carne, influenciando principalmente nas características organolépticas (textura, sabor, aroma e cor), e conseqüentemente, contribuindo para sua aceitabilidade pelos consumidores (Ludke e López, 1999).

Os adipócitos, que são as células de armazenamento da gordura, são responsáveis pela síntese e armazenamento da gordura na forma de triglicerídeos, que são moléculas com três ácidos graxos ligados a um esqueleto de glicerol. Os ácidos graxos são longas cadeias de hidrocarbonetos com número par de carbonos, geralmente de 14 a 20 e que podem conter ligações duplas entre eles. Uma das extremidades da cadeia de ácidos graxos contém um terminal carboxila, por onde se inicia a contagem das ligações duplas, e na outra extremidade contém um terminal metil, por onde se indica se o ácido graxo é ômega 3, 6 ou 9 (Lewis e Southern, 2000).

A nomenclatura dos ácidos graxos começa pelo número de carbonos, seguida pelo número de duplas ligações, e por último, pela posição da primeira dupla ligação a partir do terminal ômega (Harris et al., 2008). Podem ser classificados em três categorias: ácidos graxos saturados, monoinsaturados e poli-insaturados de acordo com o número de insaturações. Os ácidos graxos saturados mais comuns são o ácido mirístico (C14:0), ácido palmítico (C16:0) e ácido esteárico (C18:0). Os principais ácidos graxos monoinsaturados incluem o ácido palmitoleico (C16:1) e ácido oleico (C18:1n-9), e os poli-insaturados incluem o ácido linoleico (C18:2n-6), ácido α -linolênico (C18:3n-3) e ácido araquidônico (C20:4n-6) (Hausman et al., 2009).

A quantidade de cada ácido graxo da gordura é definida de acordo com os alimentos consumidos que fornecerão parte destes ácidos graxos depositados na gordura, e também daqueles provenientes da produção endógena do animal a partir da síntese *de novo* utilizando precursores como carboidratos e proteínas (Lewis e Southern, 2000).

A síntese *de novo* ocorre quando os precursores que foram absorvidos não são utilizados para a síntese de proteínas ou oxidados para a produção de adenosina trifosfato, ocorrendo a utilização de seus esqueletos de carbono para a síntese de ácidos graxos e consequente armazenamento (Figura 1). O produto dessa síntese é o ácido palmítico, podendo ser ainda alongado para ácido esteárico, e ambos podem ser convertidos em ácidos graxos monoinsaturados pela enzima Δ^9 -dessaturase para formar ácido palmitoleico e oleico (Mapiye et al., 2012).

Em dietas com baixo nível de gordura, ocorre a síntese endógena de ácidos graxos numa relação de 1,6: 1,0: 3,0 para o ácido palmítico, esteárico e oleico, respectivamente (Duran-Montgé et al., 2010). Proporções próximas aquela encontrada por um modelo desenvolvido por Lizardo et al. (2000), que indicaram que a síntese *de novo* gera numa razão de 29, 19 e 48%, os ácidos palmítico, esteárico e oleico, respectivamente.

Por sua vez, a obtenção de ácidos graxos pelo alimento se dá pela digestão da gordura dos alimentos que ocorre no intestino delgado, levando a quebra dos triglicerídeos e a absorção dos seus componentes via formação das micelas. Na corrente sanguínea, os ácidos graxos são amplamente distribuídos pelo corpo do animal, podendo ser utilizados ou estocados nos tecidos sem alteração da sua forma (Woods et al., 2009).

Após a absorção, os ácidos graxos são incorporados nos triglicerídeos (três ácidos graxos num esqueleto de glicerol), fosfolipídios (2 ácidos graxos ligados ao esqueleto do ácido fosfatídico) e ésteres de colesterol (1 ácido graxo ligado ao colesterol livre). Sendo que os fosfolipídios são críticos para a formação de cada membrana celular no corpo. A bicamada

fosfolipídica da membrana é orientada de modo que os grupos de cabeças polares interagem com o ambiente aquoso dentro e fora da célula enquanto as cadeias dos ácidos graxos são orientadas para o interior da membrana, proporcionando uma barreira impermeável à água. Nesta membrana estão incorporados colesterol e uma grande variedade de proteínas, por exemplo, receptores, canais iônicos, complexos de sinalização (Harris et al., 2008). Tipicamente, os fosfolipídios à base de glicerol contêm ácido graxo saturado na posição 1 e um ácido graxo poli-insaturado na posição 2 (Mapiye et al., 2012).

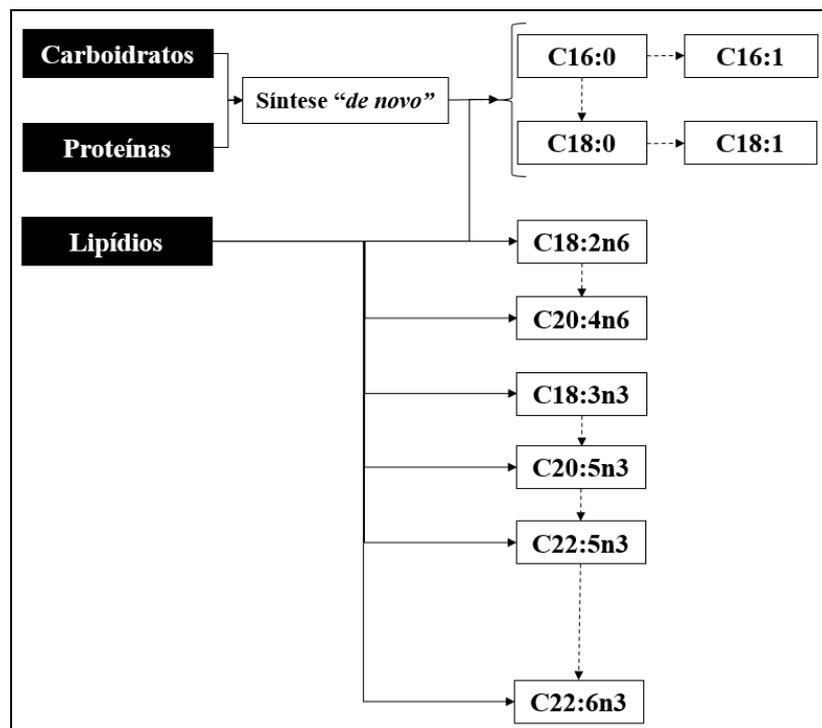


Figura 1 - Origem dos ácidos graxos mais importantes na gordura suína (Setas indicam a procedência do ácido graxo as setas pontilhadas indicam que pode ser obtido a partir do substrato). Fonte: Adaptado de Mapiye et al. (2012).

Apesar dos ácidos graxos saturados e monoinsaturados poderem ser obtidos pelo alimento, não são considerados essenciais devido a sua síntese pelo próprio animal. Por outro lado, os ácidos graxos poli-insaturados linoleico (C18:2n-6) e α -linolênico (C18:3n-3) são considerados essenciais, pois podem ser obtidos apenas pela ingestão (Wood et al., 2008). Esses ácidos graxos essenciais não podem ser sintetizados por mamíferos, porque as enzimas necessárias para colocar uma dupla ligação nas posições ômega3 ou 6 estão ausentes nesses animais (Calder et al., 2004).

O linoleico e α -linolênico também são substratos de ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa ômega 6 e ômega 3 que são originados a partir da elongação e dessaturação

(Figura 2) (Mapiye et al., 2012). A elongação e dessaturação dos ácidos graxos são realizadas por enzimas, onde as elongases atuam adicionando dois átomos de carbono à parte inicial da cadeia, e as dessaturases agem oxidando dois carbonos da cadeia, originando uma dupla ligação com a configuração cis (Martin et al., 2006). As ligações duplas em ácidos graxos insaturados são usualmente do tipo cis, isto é os átomos de hidrogênio ligados aos átomos de carbono no ponto da cadeia de ácidos graxos na mesma direção (Wood et al., 2008). Nos mamíferos, a via de dessaturação e alongamento ocorre principalmente no fígado (Calder et al., 2004).

Na via ômega 6, o ácido linoleico é o precursor e a atuação das enzimas levam a formação do ácido araquidônico (C20:4n6). Na via do ômega 3, o ácido α -linolênico é convertido a ácido eicosapentaenoico (C20:5n3, EPA) e no ácido docosahexaenóico (C22:6n3, DHA) (Skiba et al., 2015).

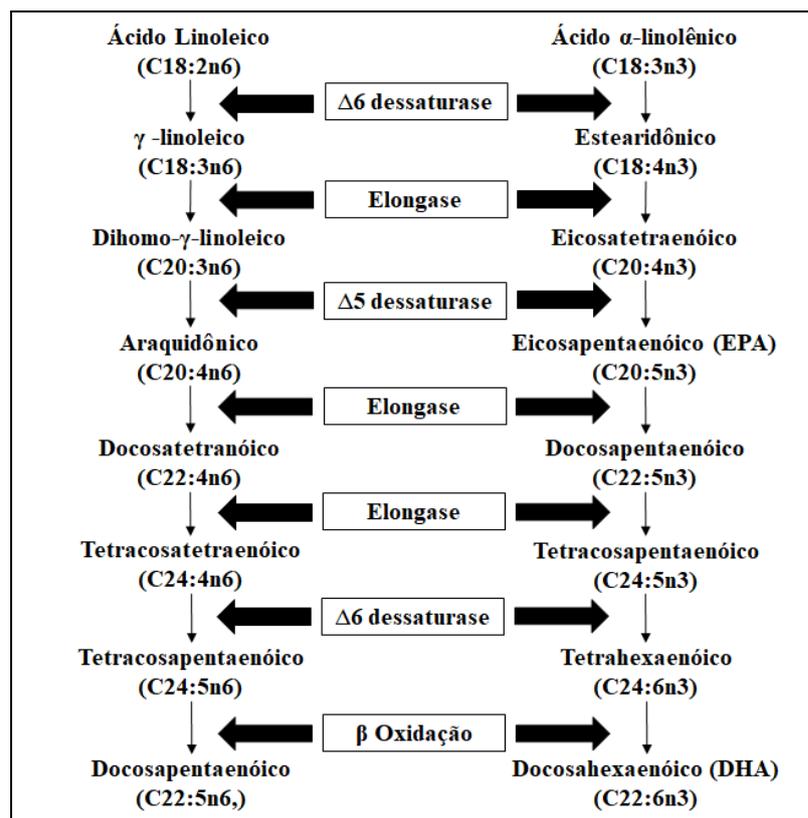


Figura 2 - Via da biossíntese dos ácidos graxos poli-insaturados. Fonte: Adaptado de Lee et al. (2019).

A conversão do EPA em DHA envolve a adição de dois carbonos para formar ácido docosapentaenóico (DPA), dois outros carbonos para produzir 24: 5n-3 e dessaturação para formar 24: 6n-3 (ácido tetracosaeaxaneico) (Calder et al., 2004). O passo final na conversão

em DHA é uma β -oxidação que converte o ácido tetracosaxeanoico em DHA, e este passo ocorre em peroxissomas de fígado (Harris et al., 2008).

Análises da gordura suína indicam que os ácidos graxos com maior concentração são os ácidos oleico, palmítico, esteárico e linoleico, sendo que a maior concentração da soma é de ácidos graxos monoinsaturados, seguido pelos ácidos graxos saturados e por último os ácidos graxos poli-insaturados (Dugan et al., 2015).

O perfil de ácidos graxos nas carnes e gorduras pode variar largamente na literatura, por conta da variação natural das amostras, que sofrem influência direta de fatores como a idade, raça, dieta e até da análise realizada (Norum, 1992).

Com relação a outras espécies, a concentração de ácidos graxos do músculo de suínos é diferente da encontrada em bovinos e frangos (Tabela 1). Suínos possuem maior concentração de ácido linoleico e α -linolênico, e menores de ácido mirístico e esteárico do que bovinos. Levando a maior relação ácidos graxos poli-insaturados:ácidos graxos saturados (Hautrive et al., 2012).

Tabela 1. Composição dos ácidos graxos (%) da carne de bovinos, suínos e frango.

Perfil lipídico	Carne		
	Bovino	Suíno	Frango
C14:0 (Ácido mirístico)	3,21a	1,58b	0,49b
C16:0(Ácido palmítico)	24,78a	24,48a	18,38a
C16:1 (Ácido palmitoleico)	3,22a	2,95a	1,82b
C18:0 (Ácido esteárico)	0,9a	0,28b	0,23b
C18:1n9c (Ácido oleico)	34,27a	37,55a	25,89b
C18:2n6 (Ácido linoleico)	2,38c	15,81b	35,95a
C18:3n3 (Ácido α -linolênico)	0,98b	0,74b	3,23a
C20:4n6 (Ácido araquidônico)	0,91b	2,16a	2,40a
C20:5n3 (Ácido eicosapentaenoico)	0,45a	0,12b	0,12b
AGPI:AGS*	0,18c	2,15a	0,72b
Ômega 6:ômega 3	2,44c	19,99a	11,23b

* AGPI:AGS = Ácidos graxos poli-insaturados: ácidos graxos saturados.

Médias com letras diferentes diferem significativamente (P<0,05).

Fonte: Adaptado de Hautrive et al. (2012).

Essa diferença entre as espécies se deve ao tipo de dieta e as características anatomofisiológicas. A maior parte da alimentação de ruminantes é composta por forrageiras, que são ricas nos ácidos graxos insaturados linolênico e linoleico (Lock e Bauman, 2004). Entretanto, dentro do rúmen ocorre o processo de metabolismo destes lipídeos ingeridos, o que altera a composição e o perfil destes ácidos graxos quando chegam ao intestino, onde serão absorvidos (Oliveira et al., 2004). Estas alterações ocorrem devido à biohidrogenação, realizada pelas bactérias no rúmen, (Kozloski, 2009) que reduzem os ácidos graxos insaturados, tóxicos

para esses microorganismos, formando ácidos graxos saturados. Essa saturação ocorre pela incorporação de íons de hidrogênio nas duplas ligações (Palmquist e Mattos, 2006).

Enquanto que em seu habitat natural a alimentação dos suínos consistia em sementes, plantas, insetos, etc., com um fornecimento maior de ácido graxo ômega 3 proveniente desse seu consumo diversificado, a alimentação passou a ser baseada em cereais, o que conseqüentemente elevou em aproximadamente 10 vezes a concentração de ácidos graxos poli-insaturados ômega 6 em comparação aos ácidos graxos ômega 3 (Gjerlaug-Enger et al., 2015).

Na dieta de ruminantes, o ácido linolênico se apresenta em maior concentração nas gramíneas, e além disso, os ácidos graxos poli-insaturados como o ácido linoleico, são transformados em ácidos graxos monoinsaturados e saturados no rúmen por biohidrogenação microbiana, incorporando apenas uma pequena proporção do ácido graxo intacto (Wood et al., 2008).

Comumente, o perfil de ácidos graxos dos suínos é avaliado na gordura subcutânea e em algum músculo, sendo principalmente escolhido para avaliação o longissimus (Abreu et al., 2014). Existem diferenças quando se avalia o perfil de ácidos graxos desses dois locais, e isso se deve principalmente ao tipo de lipídio predominante. Adipócitos intramusculares de longissimus contêm tipicamente 1% de lipídio total em suínos (Wood et al., 2008). Esses lipídios podem se encontrar na forma de triglicerídeos e fosfolipídios. A primeira forma, é como ocorre o armazenamento de energia. Por sua vez, os fosfolipídios são lipídios estruturais das células, dos quais a maioria é formada por um glicerol esterificado a dois ácidos graxos e um grupo fosfato, que se liga a serina, etanolamina, colina, glicerol ou inositol (Mapiye et al., 2012).

Enquanto o tecido adiposo subcutâneo apresenta mais de 90% do seu conteúdo lipídico na forma de triglicerídeos, em razão de sua principal função ser o armazenamento de energia. O músculo tem uma proporção significativa de fosfolipídios (Wood et al., 2008). Devido a sua função como componente de membrana, esse tipo de lipídio possui a sua proporção de ácidos graxos poli-insaturados rigorosamente controlado de modo a manter as propriedades de fluidez da membrana (Alonso et al., 2012). Esta fluidez se mostra importante para a função do receptor e para a reciclagem, bem como para a eficiência das vias de sinalização (Harris et al., 2008).

2 Ácidos graxos na dieta humana

A dieta humana acompanha todo o contexto sociocultural, onde as mudanças deste afetam diretamente o modo de consumo, fato este observado nos últimos 60 anos. A produção de alimentos de origem animal se tornou abundante, e ao mesmo tempo a população elevou seu poder de compra, levando ao aumento do consumo desses produtos e conseqüentemente da gordura associada a esses alimentos (Givens et al., 2006).

Devido à maior ingestão da gordura animal e a elevação da densidade energética da dieta, houve uma preocupação de que esse tipo de alimentação estivesse ligado à maior incidência de doenças crônicas na população, principalmente ao aparecimento de doenças cardiovasculares, que são um problema significativo de saúde mundial, principalmente nos países desenvolvidos (Bhupathiraju et al., 2011).

Acreditava-se que a quantidade de gordura dietética era exclusiva no desencadear de doenças cardíacas, afetando a incidência de aterogênese, trombose, infarto coronariano, acidente vascular cerebral e cardiopatia isquêmica na população (Munro e Cotran, 1988; Renaud e Lorgeril, 1989). A aterogênese envolve uma combinação de eventos no vaso sanguíneo que formam placas que resultam no estreitamento lento e progressivo das artérias, e que com o tempo acabam por restringir o fluxo sanguíneo. Caso haja uma ruptura dessas placas, pode ocorrer a formação de um trombo oclusivo (Libby, 2001), que pode levar ao infarto do miocárdio (Connor, 2000).

A ideia que se considerava era de que essas doenças ocorreriam devido ao consumo de gorduras que aumentariam o colesterol no plasma sanguíneo. Sabe-se que o colesterol é um componente natural e essencial aos seres humanos, que se encontra presente nas membranas das células, atuando principalmente como uma barreira no local. Para que ocorra o transporte do colesterol e de outros lipídios no corpo do animal, são formados complexos lipoproteicos, compostos por apolipoproteínas e lipídios, que realizam esse trabalho por meio da corrente sanguínea (Hals et al., 2017).

Porém, sabe-se que as lipoproteínas de alta densidade (HDL), consideradas como o “colesterol bom”, estão correlacionadas negativamente com as doenças cardiovasculares, tendo o potencial de proteger contra a aterosclerose devido ao seu papel de transportar o colesterol do tecido de volta para o fígado, onde será convertido em ácidos biliares e posteriormente excretado (Shaefer e Levy, 1985).

De maneira contrária, concentrações excessivas de colesterol, quando transportadas por lipoproteínas de baixa densidade (LDL) ou lipoproteínas de muita baixa densidade (VLDL), podem levar ao acúmulo dessa substância nas paredes das artérias, aumentando o risco de

doenças cardiovasculares (Hals et al., 2017), assim como níveis elevados de triglicérides no plasma sanguíneo (Nordestgaard e Varbo, 2014).

A associação da gordura com o colesterol, e conseqüentemente, com o aumento de doenças cardiovasculares, se mostra equivocada. Estudos indicaram que a ingestão total de gordura não teria associação significativa com a ocorrência de doenças cardiovasculares e sua conseqüente mortalidade (Skeaff e Miller, 2009), sendo que resultados positivos anteriores podem ter sido confundidos por outros fatores, como o fumo e baixa ingestão de fibras (Ascherio, 2002). Isso pôde ser confirmado, com alguns trabalhos que constataram que populações que têm como base uma dieta com alta ingestão de gordura, como os Inuit, povo indígena de regiões árticas conhecidos popularmente como esquimós, possuem menores taxas de mortalidade por doenças cardiovasculares em comparação a outras populações (Newman et al., 1993). Portanto, pode-se observar que o risco de doença coronariana depende da qualidade da gordura e não da quantidade de gordura consumida (Ascherio, 2002).

Dessa mudança de paradigma de que a gordura total consumida não é totalmente responsável por efeitos na saúde humana, foi observado que dentre os tipos de gordura, a saturada deve ser evitada. A alta ingestão desse tipo de gordura aumenta o colesterol total, o LDL e a relação triglicérides:HDL no sangue, provocando a aterosclerose (Micha e Mozaffarian, 2010; Bhupathiraju et al., 2011).

A princípio, houve divergência nos estudos com relação aos ácidos graxos saturados e o aumento do risco de doenças cardiovasculares (Hammad et al., 2016). Entretanto, essas discordâncias se deram pela razão dos estudos ocorrerem em diferentes países, onde o consumo de ácido graxos individuais diferem entre as populações. Enquanto em alguns locais o consumo do ácido mirístico e láurico é maior, em outros o ácido palmítico é o mais consumido (Fattore et al., 2014).

Dessa forma, foi observado que nem todos os ácidos graxos pertencentes ao mesmo grupo são iguais, e que cada ácido graxo, que compõe o grupo de ácidos graxos saturados, possui diferente efeito sobre o risco de doenças cardiovasculares. Enquanto o ácido esteárico (C18:0) não possui efeito sobre os triglicérides, LDL ou relação triglicérides:HDL no plasma sanguíneo, o ácido mirístico (C14:0), seguido pelo ácido láurico (C12:0) e ácido palmítico (C16:0) aumentam o nível de LDL (Siri-Tarino et al., 2010) e de triglicérides (Micha e Mozaffarian, 2010).

Apesar do ácido esteárico não possuir efeito sobre alguns desses parâmetros, existe associação positiva para o consumo dos quatro principais ácidos graxos saturados, o ácido láurico, mirístico, palmítico e esteárico e a mortalidade por doenças cardiovasculares

(Kromhout et al., 1995). Os ácidos mirístico e palmítico estão relacionados também com o câncer colorretal e diabetes tipo 2 (McAfee et al., 2010). Outro efeito observado se deve ao risco maior de ocorrência de doença cardíaca isquêmica causada pelo consumo de ácidos graxos saturados de cadeia longa, compostos pelo ácido láurico até o ácido esteárico, enquanto os ácidos graxos de cadeia curta a média (de 4 a 10 carbonos) não possuem associação com a doença (Praagman et al., 2016).

O efeito dos ácidos graxos monoinsaturados sobre as doenças cardiovasculares foi negligenciado por muito tempo (Ulbricht e Southgate, 1991), entretanto o interesse em aprofundar os estudos desta correlação têm aumentado devido ao seu efeito cardioprotetor (Hammad et al., 2016), observado principalmente na dieta mediterrânea, na qual a população possui alto consumo desse tipo de ácido graxo (Bhupathiraju et al., 2011).

Os consumidores da dieta mediterrânea possuem baixa prevalência de doenças crônicas (Bergouignan, 2009). Isso ocorre, ainda que o nível de gordura total da dieta seja próximo ao da dieta ocidental, devido ao tipo de gordura consumida. A dieta mediterrânea é caracterizada pelo seu elevado teor de ácidos graxos monoinsaturados, sendo que de 33 a 40% da energia é proveniente do consumo de gordura, e em torno de 16 a 29% dessa energia se deve a ingestão de ácidos graxos monoinsaturados, sendo o azeite a fonte predominante de gordura (Gillingham et al., 2011).

Sugere-se que exista uma redução de 20% no risco de doenças cardiovasculares com o consumo de ácidos graxos monoinsaturados (Gillingham et al., 2011), além do efeito antitrombótico e anti-hipertensivo (Feldman, 1999). Esses efeitos na saúde se devem a diminuição dos níveis plasmáticos de triglicerídeos e LDL, bem como a redução da relação triglicerídeos:HDL (Sanders, 2009). Quando se compara esse tipo de ácido graxo com os ácidos graxos poli-insaturados, existe uma vantagem, pois ainda que ocorra redução do colesterol sanguíneo, não ocorre redução do HDL (Lamarche e Couture, 2015). Esses efeitos têm levado a recomendações de aumento no consumo de ácidos graxos monoinsaturados, principalmente por conta da ausência de efeitos colaterais em dietas ricas em ácidos graxos monoinsaturados, em comparação a outros ácidos graxos (Schwingshack e Hoffmann, 2012).

Dentro da categoria dos ácidos graxos monoinsaturados, o ácido oleico é um dos que têm sido mais investigados (Ulbricht e Southgate, 1991). Os resultados observados para os ácidos graxos monoinsaturados possivelmente se devem a esse ácido graxo, pois ele é responsável pela redução no colesterol e LDL plasmático e aumento no HDL (Grundy, 1989). Outro benefício encontrado foi a possibilidade de promover perda de peso em pacientes obesos (Poudyal e Brown, 2015).

Os ácidos graxos poli-insaturados podem ser divididos em ômega 3 e ômega 6, sendo que ambos são ácidos graxos essenciais para a saúde humana. Essa essencialidade se deve a impossibilidade dos mamíferos de inserir ligações duplas ômega 6 e ômega 3 nos ácidos graxos, sendo possível a formação do ácido linoleico e α -linolênico somente pelas plantas (Calder et al., 2004).

De acordo com estudos, o consumo de ácidos graxos poli-insaturados possui efeitos benéficos para a saúde humana, devido à forte proteção contra as doenças cardiovasculares. Os mecanismos pelos quais isso ocorre, seria pela redução no LDL, e das relações triglicéridos:HDL e colesterol total:HDL (Ascherio, 2002; Mozaffarian et al., 2010). Outros efeitos benéficos estariam relacionados à redução da hipertrigliceridemia pós-prandial, supressão das arritmias cardíacas ventriculares (Ascherio, 2002), melhora na resistência à insulina e redução na inflamação sistêmica (Summers et al., 2002; Pischon et al., 2003).

Entretanto, as duas classes de ácidos graxos, ômega 3 e ômega 6, podem ter diferentes efeitos sobre a saúde cardiovascular (Hammad et al., 2016). Essa diferença pode ser notada, quando se observa desequilíbrio no consumo desses dois tipos de ácidos graxos poli-insaturados. Na sociedade atual, houve aumento no consumo de óleos vegetais ricos em ácidos graxos ômega 6, principalmente o ácido linoleico (C18:2n6) e redução no consumo de alimentos ricos em ômega 3 (Connor, 2000).

Alguns estudos têm enfatizado a importância de se avaliar a relação ômega 6:ômega 3 do alimento e sua influência na saúde humana, e não somente os ácidos graxos individuais que compõem estas categorias. Foi observado que durante as últimas décadas, esta proporção aumentou na dieta ocidental, atingindo uma razão de 10:1 a 20:1 (Patterson et al., 2012).

Existem indícios de que uma alta relação ômega 6:ômega 3 seria responsável pelo aparecimento de doenças cardiovasculares (Russo, 2009), enquanto uma relação mais próxima da unidade (1:1) possuiria efeitos protetores contra essas doenças (Bhardwaj et al., 2016; Hammad et al., 2016). Quando uma proporção elevada de ômega 6:ômega 3 foi reduzida para níveis de 4:1 na dieta, verificou-se que essa baixa proporção esteve associada a uma redução de 70% na mortalidade por todas as causas (Russo, 2009).

Existem recomendações para que se reduza o consumo de ácido linoleico baseadas no fato de que o ácido araquidônico, proveniente do ácido linoleico, é um substrato para uma variedade de moléculas pró-inflamatórias, e as doenças cardiovasculares são derivadas de um processo inflamatório. Essas substâncias são conhecidas como eicosanoides da série 2 (Prostaglandina E₂, Tromboxano A₂ e Leukotrieno B₄), sendo pró-inflamatórias,

vasoconstritoras e pró-agregadoras (Harris et al.,2009), contribuindo para a formação de trombos e ateromas (Simopoulos, 2008).

Os ácidos graxos ômega 3 estão associados com a diminuição da produção dessas substâncias. O aumento do consumo de ácidos ômega 3, leva a redução do ácido araquidônico nos fosfolipídios de membrana, sendo substituído pelo EPA, e conseqüentemente, reduzindo a síntese de eicosanoides. Ainda que o EPA também seja substrato para eicosanoides, esses produtos são menos vasoconstritores e levam a menor agregação plaquetária (Calder et al., 2004). Outro fator que justificaria esse efeito, é de que o ácido linoleico e o α -linolênico competem pelas mesmas enzimas para formar o ácido araquidônico e EPA, respectivamente (Harris, 2018).

Alguns estudos ainda questionam esses efeitos não benéficos do consumo de ômega 6 (Harris et al.,2009), porém um estudo mais recente encontrou evidências de que estes ácidos graxos têm efeito sobre as doenças cardiovasculares, e essa implicação pode ser parcialmente causada pelo aumento no colesterol total, triglicerídeos e LDL (Liao et al., 2019).

Enquanto que para o ômega 3, alguns estudos têm observado que o consumo de óleos vegetais ricos nesses tipos de ácidos graxos seria benéfico para a prevenção e redução do risco de doença cardiovascular fatal em diversos subgrupos da população (Del Gobbo et al., 2016), além de desempenhar papel na redução da inflamação sistêmica (Madden et al., 2007) e proteger contra o desenvolvimento de aterosclerose (Holy et al., 2011).

Esses resultados seriam ainda mais consistentes, quando o consumo é de ácidos graxos ômega 3 de cadeia longa, como o EPA e DHA, sendo observado a redução do risco de doenças cardiovasculares em pessoas com níveis elevados de triglicerídeos ou colesterol LDL (Alexander et al., 2017). Inclusive, houve a sugestão por meio de um trabalho recente, que um dos problemas mais importantes na dieta ocidental seria o baixo consumo de EPA e DHA, em que seriam os melhores indicadores de qualidade da dieta (Harris, 2018).

3 Modificação dos ácidos graxos

Devido as maiores exigências com relação a carne consumida, a cadeia produtiva da suinocultura tem concentrado seus esforços em meios de reduzir a quantidade total de gordura depositada, por meio da genética, manejo e nutrição (Realini et al., 2010). Além disso, a gordura da carne suína, assim como outros alimentos, é composta por uma combinação de ácidos graxos, e considerando as informações relatadas, alguns deles possuem efeitos benéficos, enquanto outros podem afetar de forma negativa a saúde humana. Dessa forma,

muitos estudos também têm focado em formas de melhorar a composição e a qualidade nutricional da carne (Ahmed et al., 2016).

Os tipos de ácidos graxos influenciam em vários aspectos tecnológicos da carne, inclusive em aspectos tecnológicos como a firmeza do tecido adiposo (dureza), a vida útil (oxidação lipídica e pigmentar) e o sabor. Quanto maior o número de insaturações, menor é a firmeza da gordura e a vida útil de prateleira da carne, influenciando inclusive no sabor. Assim, a indústria processadora de carne valoriza produtos com maior quantidade de ácidos graxos saturados, pois essa característica contribui para melhorar o sabor e as propriedades tecnológicas dos produtos (Wood et al., 2003).

Por outro lado, há uma preocupação crescente com o papel desses ácidos graxos na patogênese da doença coronariana em humanos e uma alta ingestão desse tipo de ácido graxo é desencorajada (Chowdhury et al., 2014). Assim como os ácidos graxos saturados, a carne suína possui uma alta relação ômega 6:ômega 3 (Abreu et al., 2014; Alencar et al., 2017), que tem efeitos negativos na saúde humana, sendo interessante a alteração desse perfil lipídico.

Uma forma de reduzir a ingestão de ácidos graxos saturados e aumentar a ingestão de ácidos graxos poli-insaturados ômega 3 como o ácido α -linolênico, e aqueles de cadeia longa como o EPA e DHA, seria fortalecer alimentos tradicionais como carne e produtos cárneos com esse tipo de ácidos graxo, sem a necessidade de alterar o comportamento alimentar dos consumidores (Corino et al., 2014).

O aumento dos ácidos graxos na carne pode facilitar o consumo para a população que não gosta ou não possui o hábito de consumir pescados. Além disso, é uma melhor alternativa aos suplementos dietéticos purificados, pois obtendo os ácidos graxos diretamente do alimento, em conjunto é ingerido nutrientes antioxidantes que previnem a peroxidação *in vivo*, como o selênio, glutathiona, carnosina e taurina. Esses nutrientes têm propriedades antimutagênicas, anticarcinogênicas e anti-inflamatórias, e podem ter efeito sinérgico com os efeitos protetores dos ácidos graxos ômega 3 (Gjerlaug-Enger et al., 2015).

Pesquisadores conseguiram enriquecer a carne suína com ácidos graxos ômega 3 por meio da criação de suínos transgênicos, obtendo relação ômega 6:ômega 3, próxima de 1 (Zhou et al., 2014). Entretanto, ainda é improvável que produtos transgênicos sejam aceitos pela maioria dos consumidores e até de forma legal em muitos países. Portanto, outras formas devem ser consideradas para melhorar o perfil lipídico da gordura (Jaturasitha et al., 2016), ou até mesmo para maximizar a qualidade dela. Dentre os fatores que podem influenciar na composição de ácidos graxos da gordura da carcaça suína, estão a raça, o sexo, a idade, o peso de abate e o sistema de criação (Raj et al., 2010).

Estudos que compararam diferentes raças, indicaram que dependendo da genética utilizada no plantel, o perfil lipídico da gordura subcutânea e do músculo poderá ser diferente, tanto para os ácidos graxos saturados, ácidos graxos monoinsaturados e ácidos graxos poli-insaturados, quando para a relação ômega 6:ômega 3 (Kasprzyk et al., 2015; Nevrkla et al., 2017).

Em um trabalho que avaliou três raças puras (Duroc, Landrace e Yorkshire) e também o cruzamento entre elas, indicou diferenças no perfil lipídico do músculo longissimus, para todos os ácidos graxos avaliados e suas somas, sendo constatado que o cruzamento das três raças é o que produz o perfil lipídico mais indicado para os consumidores, uma vez que obteve a menor concentração de ácidos graxos saturados e melhor relação ácidos graxos poli-insaturados:saturados e ômega 6:ômega 3 (Choi et al., 2016).

Dessa forma a qualidade da gordura dos animais do plantel pode ser modificada pela introdução de uma raça específica (Davoli et al., 2018). Efeito observado em outro estudo que avaliou a gordura de animais com diferentes porcentagens de uma raça específica, onde a introdução da raça Duroc em diferentes porcentagens na linhagem materna (0, 25 ou 50%) alterou o perfil de ácidos graxos na gordura subcutânea, com mudanças em vários ácidos graxos avaliados e nas somatórias (ácidos graxos saturados e ácidos graxos poli-insaturados), assim como no músculo longissimus, com efeito nos ácidos graxos monoinsaturados (Alonso et al., 2015).

Na avaliação do perfil de ácidos graxos da gordura proveniente de quatro raças (Pietrain, Landrace Belga, Duroc e Hampshire), foi observado que os animais Pietrain produziram gordura subcutânea com menor concentração de ácido esteárico e palmítico, e consequentemente, nível mais baixo de ácidos graxos saturados total do que as outras raças. O total de ácidos graxos monoinsaturados também ficou abaixo, enquanto os ácidos graxos linoleico, linolênico e ácidos graxos poli-insaturados total foram superiores (Raj et al., 2010).

A diferença encontrada para as diferentes genéticas pode ser atribuída ao diferente padrão de expressão dos genes envolvidos no metabolismo lipídico anabólico e oxidativo, principalmente observada quando se compara suínos com perfil mais magro e aqueles com perfil mais gordo (Corominas et al., 2013). Justificando por exemplo, os resultados para os suínos da raça Pietrain, pois são mais magros que as outras raças avaliadas, apresentando maior concentração de proteínas e menor teor de gordura na carcaça (Raj et al., 2010).

Outros estudos também observaram a diferença nos genes envolvidos no metabolismo da glicose e na síntese *de novo* de ácidos graxos, principalmente pela comparação de suínos de fenótipo magro (Landrace), e suínos com o fenótipo obeso (Rongchang) no tecido adiposo

(Li et al., 2012). O fato da síntese *de novo* ser menor em raças mais magras, acaba por resultar em menor diluição dos ácidos graxos exógenos, provenientes da dieta, como por exemplo o ácido linoleico. Outros fatores que explicariam as diferenças, seria o consumo, conversão alimentar e até a maturação precoce de algumas raças (Raj et al., 2010).

Um estudo estimou que a composição de ácidos graxos da gordura suína é moderadamente herdável, podendo ser modificada pela seleção genética. Uma forma possível seria selecionar animais com maior quantidade de ácidos graxos monoinsaturados, pois essa característica não possui correlação genética com características de carcaça como profundidade de músculo e espessura de toucinho. Por outro lado, foi observada correlação genética negativa com os ácidos graxos saturados, indicando a possibilidade de seleção dessa característica, sem interferir nas características de carcaça, enquanto diminui o conteúdo de ácidos graxos saturados (Davoli et al., 2018).

O sexo do animal também interfere na composição de ácidos graxos da gordura da carcaça suína. Muitos trabalhos avaliaram qual a diferença no perfil lipídico da carcaça de suínos com sexo diferente, sendo observado resultados divergentes que dependem basicamente da condição sexual do macho, se é avaliado castrado ou inteiro (imunocastrado) (Hallenstvedt et al., 2012; Franco et al., 2014; Alonso et al., 2015). Essa diferença, inclusive altera a proporção dos ácidos graxos em diferentes locais de deposição no animal, como a gordura subcutânea dorsal e abdominal e a gordura perirenal (Jiang et al., 2018).

Avaliação da gordura proveniente da carcaça de machos inteiros e fêmeas demonstrou que as fêmeas possuem maiores concentrações do ácido palmítico, esteárico, palmitoleico e oleico, e conseqüentemente, maior soma de ácidos graxos saturados e ácidos graxos monoinsaturados em relação aos machos inteiros. Por outro lado, os machos inteiros possuem maiores proporções de ácido linoleico, α -linolênico, araquidônico, DPA, DHA, ácidos graxos poli-insaturados (Cameron e Enser, 1991; Hallenstvedt et al., 2010), soma de ômega 6 e ômega 3, e melhor relação ômega 6:ômega 3. Sendo que a diferença é observada tanto na gordura intramuscular quando na gordura subcutânea (Alonso et al., 2015).

Esses resultados também foram observados por outros trabalhos, com algumas pequenas diferenças, como a não observação de diferença entre os ácidos graxos saturados individuais ou a sua somatória (Hallenstvedt et al., 2012; Alonso et al., 2015). Existe a suposição de que essa diferença na concentração de ácidos graxos ocorre por conta da menor quantidade de gordura subcutânea nos machos inteiros (Wood et al., 2008). Entretanto, trabalhos onde não há diferença na quantidade de gordura entre os machos inteiros e as fêmeas, os mesmos

resultados são observados, indicando uma possível maior atividade de enzimas, como a Δ^9 -dessaturase (Hallenstvedt et al., 2010).

Quando o estudo se concentra em avaliar a gordura da carcaça de animais castrados e fêmeas, os resultados são contrários daquele encontrado para os machos inteiros. Machos castrados possuem maior quantidade de ácido mirístico, palmítico (Nilzen et al., 2001), palmitoleico (Kasprzyk et al., 2015), oleico (Bee et al., 2004) e ácidos graxos saturados do que as fêmeas (Nilzen et al., 2001; Bee et al., 2004; Tuz et al., 2004; Kasprzyk et al., 2015), enquanto as fêmeas apresentam maior quantidade de ácido linoleico, araquidônico, EPA, DHA, ômega 3, ômega 6 e ácidos graxos poli-insaturados do que os machos castrados (Nilzen et al., 2001; Bee et al., 2004; Ntawubizi et al., 2009; Franco et al., 2014).

O alto teor de ácidos graxos saturados nos machos castrados pode ser devido ao maior teor de gordura intramuscular e subcutânea (Franco et al., 2014), que é favorecido pela castração, elevando a deposição de gordura e, portanto, afetando a composição de ácidos graxos (Mourot et al., 1999; Peinado et al., 2008).

A partir disso sugere-se que a gordura proveniente de machos inteiros seria mais saudável para os seres humanos em comparação àquela obtida de machos castrados e fêmeas, visto que possuem menos ácidos graxos saturados e mais ácidos graxos poli-insaturados (Hallenstvedt et al., 2010).

Existe outra variável que pode atuar na concentração de ácidos graxos da gordura suína, sendo que alguns autores avaliam como efeito do peso do animal (García-Macías et al., 2010; Raj et al., 2010), enquanto outros avaliam como o efeito da idade (Virgili et al., 2003; Apple et al., 2009c; Lorenzo et al., 2018), entretanto as duas características estão relacionadas e atuarão de forma igual sobre o perfil lipídico.

Os resultados observados da elevação da idade (12, 14 e 16 meses) no abate de suínos são de aumento na concentração na gordura dos ácidos graxos mirístico, palmitoleico, e o total de ácidos graxos saturados. Por outro lado, ocorre redução do ácido linoleico, α -linolênico, eicosatrienoico (C20:3n3) e total de ácidos graxos poli-insaturados (Lorenzo et al., 2018), mesmo efeito observado para o aumento da idade de abate de 8 para 10 meses de idade (Virgili et al., 2003), ou de animais mais leves para mais pesados. Também é possível observar aumento na concentração do ácido oleico e do total de ácidos graxos monoinsaturados (Raj et al., 2010). Sendo que a totalidade desses efeitos resultam em maiores valores dos índices aterogênico e trombogênico (Lorenzo et al., 2018).

O efeito sobre o total de ácidos graxos saturados, ácidos graxos monoinsaturados e ácidos graxos poli-insaturados ocorre principalmente na gordura subcutânea, sendo que os

efeitos observados no músculo longissimus são para redução apenas do total de ácidos graxos poli-insaturados e aumento do total de ácidos graxos monoinsaturados (Raj et al., 2010).

Outros estudos avaliaram o aumento do peso no abate, utilizando uma extensa faixa de peso, passando dos 28 para os 113 kg, e observaram a alteração da composição de ácidos graxos da carcaça de suínos. Conforme se aumenta a idade dos animais, é possível observar aumento nos ácidos graxos saturados, principalmente no ácido palmítico e esteárico, e nos ácidos graxos monoinsaturados, principalmente pelo ácido oleico, passando de 32,76 para 39,98%, quando se compara animais com 28 e com 113 kg. Outro efeito observado é a redução dos ácidos graxos poli-insaturados, principalmente ácido linoleico e α -linolênico, e piora na relação ômega 6:ômega 3, possivelmente devido a redução do ácido graxo pertencente ao grupo ômega 3 (Apple et al., 2009c). Os mesmos resultados foram observados em outros trabalhos (Apple et al., 2009a; Apple et al. 2009b).

Estas alterações resultam da maior deposição de gordura conforme se aumenta a idade e peso do animal. Sendo observada uma correlação negativa para a concentração de proteína na carcaça e os ácidos graxos saturados na gordura subcutânea e da carne, e correlação positiva para a gordura da carcaça e os ácidos graxos saturados na gordura subcutânea. Essa correlação está relacionada ao fato de que a maior quantidade de gordura depositada é proveniente da crescente síntese *de novo* dos ácidos graxos saturados e monoinsaturados nos tecidos (Raj et al., 2010).

O sistema de criação também pode influenciar na composição de ácidos graxos da carcaça, porque dentre outros motivos, as condições de criação exercem vários fatores sobre o metabolismo do animal. Músculos de suínos ibéricos criados em sistemas diferentes apresentaram diferenças em sua composição de ácidos graxos. Os animais submetidos ao sistema extensivo com acesso a alimentação por pastagens e castanhas, em comparação aos animais sob sistema intensivo, apresentaram proporções significativamente mais altas de ácido oleico, α -linolênico, ácido eicosenoico (C20: 1 n-9), ácidos graxos monoinsaturados e ômega 3, e proporções mais baixas de ácido palmitoleico, ácido margárico (C17:0), ácido heptadecenoico (C17:1n-9), ácido araquidônico e ácidos graxos saturados, refletindo o perfil de ácidos graxos da bolota e a riqueza em α -linolênico da grama (Tejerina et al., 2012).

Como observado, a dieta fornecida para os animais criados em sistema extensivo geralmente difere daquela fornecida aos criados em sistema intensivo, seja pela complementação com outros alimentos ou pelo não fornecimento de uma dieta balanceada. Porém, não é somente a dieta que influencia no perfil lipídico da gordura, existem mais dois fatores que podem atuar sobre essa característica, como o fato dos animais estarem mais

sujeitos a mudanças de temperatura e ser permitido que desenvolvam maior quantidade de atividade física do que nos sistemas intensivos (Bee et al, 2004; Lebret et al., 2005).

Este efeito pôde ser observado em outro trabalho (Bee et al., 2004) que avaliou suínos criados nos dois tipos de sistemas, porém com o mesmo tipo de alimentação, e foi observado no músculo menores concentrações para os ácidos palmítico, palmitoleico, oleico e total de ácidos graxos saturados e ácidos graxos monoinsaturados para os suínos criados extensivamente em relação aos suínos criados em ambientes fechados. Além disso, constatou-se aumento no ácido linoleico, α -linolênico, araquidônico, DPA, total de ácidos graxos poli-insaturados e melhora na relação ômega 6:ômega 3 nessa comparação. Resultados semelhantes foram observados em outras pesquisas (Nilzen et al., 2001; Lebret et al., 2005; Martins et al., 2015).

Nesses casos ainda que a dieta fornecida seja a mesma, ocorre a ingestão de pastagem o que aumenta o teor de ácido α -linolênico (Bee et al., 2004), e o outro fator atuante é no metabolismo desses animais, onde existe diferença na deposição de gordura, por conta da síntese endógena de ácidos graxos e o catabolismo da gordura (Martins et al., 2015). Esse fato pode ser constatado pelo aumento na atividade de enzimas responsáveis pela oxidação lipídica e conseqüentemente, maior oxidação dos ácidos graxos (Bee et al, 2004).

Como observado, a composição de ácidos graxos da gordura intramuscular e subcutânea em suínos pode ser manipulada usando diferentes estratégias, incluindo a composição da raça, sexo, peso de abate e suas interações. Apesar dessas considerações, o efeito com maior impacto sobre a maioria dos ácidos graxos individuais e índices é a dieta, seguida pela raça e sexo (Juarez et al., 2016).

Alguns estudos relacionados a dieta buscaram entender o efeito da restrição alimentar sobre o perfil lipídico. Um estudo avaliou animais submetidos a fornecimento da dieta *ad libitum* enquanto outros ficaram sob restrição alimentar. Foi observada menor concentração do ácido palmítico e total de ácidos graxos saturados, e maior de ácidos graxos monoinsaturados com uma tendência para o aumento do ácido oleico para os animais submetidos a restrição alimentar (Dalla Bona et al., 2016). Essa mudança pode estar relacionada com enzimas no tecido adiposo, devido à redução na expressão da acetil-CoA carboxilase e ácido graxo sintetase, responsáveis pela síntese de ácidos graxos, e aumento na expressão da lipase hormônio-sensível e lipase lipoproteica, responsáveis pela lipólise dos ácidos graxos (Kim et al., 2014).

A inclusão de ingredientes específicos na dieta de suínos também tem sido alvo de pesquisas. Esses ingredientes específicos alteram a concentração dos ácidos graxos devido ao

seu perfil lipídico diferente (Ahmed et al., 2016; Yu et al., 2017) ou até mesmo devido aos seus efeitos no metabolismo lipídico (Luo et al., 2018).

Ingredientes de maior disponibilidade em certas regiões são incluídos na dieta com o objetivo de reduzir custos ou até obter produtos diferenciados. Um subproduto como o farelo de bagaço de caju, utilizado como substituinte na dieta de suínos, aumenta a quantidade de ácido linoleico e araquidônico na gordura subcutânea, sem alterar os demais ácidos graxos avaliados (Moreira et al., 2018). Para a produção de presunto seco curado, utiliza-se as bolotas como parte da alimentação dos suínos ibéricos, e estas modificam o perfil lipídico da gordura suína (Cava et al., 1997).

Por outro lado, outros trabalhos visam obter efeitos metabólicos com a inclusão de certos ingredientes, e conseqüentemente, observam efeitos na gordura. Como por exemplo, a suplementação extra de isoleucina que atua como regulador da homeostase energética e da lipogênese. A sua inclusão aumenta a quantidade de gordura intramuscular e eleva a concentração do ácido oleico e do total de ácidos graxos monoinsaturados, com melhora na relação ômega 6:ômega 3. Esse efeito observado se deve a estimulação na expressão da estearoil-CoA dessaturase (Δ^9 -dessaturase) (Luo et al., 2018).

Até mesmo ingredientes benéficos na alimentação humana têm sido incluídos nas dietas de suínos. A suplementação de uma mistura de ervas naturais ou fermentadas foi capaz de modificar o perfil lipídico de suínos (Ahmed et al., 2016), assim como a suplementação com uma mistura de ervas utilizadas na medicina tradicional chinesa, onde houve efeito na gordura subcutânea e da carne (Yu et al., 2017).

Além do enfoque dado nesses ingredientes, existem ainda dois fatores que têm sido objeto de estudos dentro da composição da dieta fornecida aos suínos. Sendo um, a inclusão de um ingrediente lipídico, como as gorduras e óleos, e o outro, a inclusão de aditivos como o cromo.

3.1 Fontes lipídicas e ácidos graxos

A utilização de óleos e gorduras como fonte energética tem sido frequente na formulação de dietas para suínos, por trazer vários benefícios, como a capacidade de suprimir a produção de poeira causada pela ração dos animais com a utilização de apenas 1% de óleo (Mankell et al., 1995), considerando que a poeira é um dos fatores de risco para a ocorrência ou reincidência de doenças respiratórias em suínos (Stärk, 2000).

O óleo também pode ser utilizado para aumentar a densidade energética da dieta, e devido a capacidade dos suínos ajustarem seu consumo diário de ração para manter constante

a ingestão de energia, é possível observar redução no consumo quando ocorre adição de óleo a dieta, e com conseqüente melhoria na conversão alimentar (Marçal et al., 2018).

A vantagem do óleo é importante para animais que se encontram sob estresse térmico e acabam por reduzir o consumo de ração. O óleo possui dois benefícios para auxiliar no desempenho desses animais, o aumento da densidade energética da dieta e a redução do incremento calórico, melhorando os efeitos negativos do estresse térmico (Spencer et al., 2005).

Em outros casos, a substituição de um ingrediente exige a compensação de algum nutriente ou da quantidade de energia, como a substituição do milho pelo milheto na dieta de suínos, que necessita da inclusão de uma fonte altamente energética para compensar a menor quantidade de energia fornecida pelo milheto (Abreu et al., 2014).

As fontes lipídicas influenciam o perfil lipídico da gordura suína, devido principalmente à sua composição de ácidos graxos (Duran-Montgé et al., 2010). O suíno, sendo uma espécie não ruminante, é susceptível a alterações na composição de ácidos graxos do tecido adiposo e do músculo utilizando dietas contendo diferentes óleos (Wood et al., 2008). Resultados podem ser alcançados somente com a inclusão na dieta, sem a necessidade de proteção desse óleo, como ocorre com ruminantes (Woods et al., 2009).

Isso contribui para resultados alcançados onde a maioria dos ácidos graxos avaliados é alterada quando se inclui uma fonte lipídica, alterando inclusive a somatória desses ácidos graxos (saturados, monoinsaturados e poli-insaturados) e índices que indicam a qualidade da gordura para a saúde humana (Turner et al., 2014; Alencar et al., 2017).

Além do fornecimento de ácidos graxos, as dietas também podem interagir com outras redes reguladoras, como fatores de desenvolvimento e hormonais específicos do tecido, bem como regulando a expressão gênica. Sendo observado mudanças na expressão de genes relacionados à sinalização de insulina no músculo longissimus de suínos (Park et al., 2012).

Na comparação da suplementação de suínos com óleo de linhaça ou gordura animal, foi possível observar que o óleo levou a gordura subcutânea a ter menores concentrações do ácido palmítico, e maiores de ácido linoleico, α -linolênico, e o total de ômega 6 e ômega 3 (Kim et al., 2014). Em outro trabalho onde se avaliou o músculo de suínos alimentados com dietas com inclusão de óleo de linhaça, a fonte lipídica alterou o perfil de ácidos graxos, com incremento no total de ácidos graxos poli-insaturados e diminuição no total dos monoinsaturados e saturados (Turner et al., 2014).

Como observado, os resultados são observados tanto para a gordura do músculo avaliado, quanto as outras gorduras, como a subcutânea ou visceral. Entretanto, os resultados

para a gordura subcutânea geralmente são maiores, tanto na quantidade de ácidos graxos afetados, quanto na concentração alterada, independente da dieta utilizada (Vaclavkova et al., 2016; Alencar et al., 2017).

Uma das razões da gordura da carne ser menos afetada pela adição de uma fonte lipídica na dieta do animal, se deve a maior quantidade de lipídios polares de membrana na carne em relação a gordura subcutânea, o qual tem a necessidade de manter uma relação ácidos graxos saturados:ácidos graxos poli-insaturados constante de forma a permitir a fluidez de compostos pela membrana (Bee et al., 2002). Assim o conteúdo de ácidos graxos pode ser alterado, mas dentro de um limite que mantenha sua função e fluidez (Mapiye et al., 2012).

Alguns trabalhos não encontram diferenças significativas para os ácidos graxos saturados quando se faz a inclusão de fontes lipídicas nas dietas de suínos (Sobol et al., 2015; Juárez et al., 2016). Isso ocorre, pois diferentemente dos ácidos graxos poli-insaturados, os saturados podem ser sintetizados *in vivo* pelos suínos, sendo menos influenciados pela gordura dietética (Juárez et al., 2016).

Os ácidos graxos saturados e monoinsaturados de 16 e 18 carbonos são os principais produtos da síntese no animal e as interconversões entre eles limitam o impacto de adições dietéticas (Wood et al., 2008). Dietas com inclusão de gordura animal em duas concentrações (1 e 3%) ou óleo de soja, não foram suficientes para alterar a concentração dos ácidos graxos saturados no trabalho de Alonso et al. (2012).

Apesar disso, a inclusão de gordura na dieta reduz a síntese *de novo* da gordura (Duran-Montgé et al., 2010), favorecendo a deposição de ácidos graxos exógenos, em substituição a deposição de ácidos graxos endógenos (Azain, 2004). Este fato é observado principalmente quando a gordura é rica em ácidos graxos poli-insaturados (Jump et al., 2005) e quando existe altas concentrações de ácido linoleico que reduz a expressão da enzima Δ^9 -dessaturase, diminuindo a concentração do ácido oleico (Kouba et al., 2003).

Os ácidos graxos monoinsaturados podem ser aumentados por meio da suplementação dietética. A inclusão de um subproduto da indústria do óleo de oliva, incrementou a concentração do ácido oleico, passando de 32,6% para 36,7%. O aumento desse tipo de ácido graxo possui algumas vantagens em relação aos ácidos graxos poli-insaturados, pela menor possibilidade de alterar a qualidade sensorial e tecnológica da carne *in natura* ou de produtos processados (Mas et al., 2010).

A variabilidade dos ácidos graxos poli-insaturados é alta, sendo influenciada por diversos fatores, inclusive a dieta utilizada (Juárez et al., 2016). Assim como todos os animais, os suínos não possuem as enzimas Δ^{12} e Δ^{15} -dessaturase, que só é presente em

plantas. Dessa forma não conseguem sintetizar os ácidos graxos poli-insaturados como o linoleico e α -linolênico (Calder et al., 2004).

Para que haja aumento na concentração desses ácidos graxos na gordura suína é necessário que haja fornecimento dietético. Resultados expressivos podem ser alcançados usando dietas com altos níveis de ácido linoleico, que é um ácido graxo comum em grãos e oleaginosas (Woods et al., 2008). A inclusão de 6,8% de óleo de soja na dieta de suínos aumentou em 53,0% e 44,0% a concentração de ácido linoleico na gordura subcutânea e da carne, respectivamente (Alencar et al., 2017). Enquanto a inclusão de 4% de colza, aumentou em 251% a concentração do ácido α -linolênico na gordura intramuscular (Vehovský et al., 2019).

A taxa de deposição considerada para estes dois ácidos graxos fica em torno de 65 e 73% para o ácido linoleico e 63 e 64% para o α -linolênico (Duran-Montgé et al., 2010), sendo que dependendo da fonte de gordura, até 82% de α -linolênico fornecido com alimento é depositado diretamente na carcaça. Sendo o restante oxidado ou convertido em outros ácidos graxos (Skiba et al., 2015).

A eficiência de deposição, que avalia a relação do nível observado no tecido com a ingestão dietética, é maior para o ácido linoleico do que para o α -linolênico no tecido adiposo e no músculo. Com relação ao ácido linoleico, a eficiência é maior para o tecido adiposo do que o músculo, e já em relação ao α -linolênico, é semelhante nos dois tecidos (Nguyen et al., 2003).

Apesar da eficiência de deposição ser próxima, a diferença na porcentagem de incremento no tecido para os dois ácidos graxos é diferente. Sendo observado em um estudo que a inclusão de óleo de soja aumentou em média 48% do ácido linoleico e em torno de 111% do ácido α -linolênico. Essa diferença se deve a concentração desses ácidos graxos em animais alimentados com dietas sem a inclusão de óleo de soja, onde a concentração do ácido linoleico se encontra na faixa de 7 a 9%, a do α -linolênico em torno de 0,3 a 0,4%. Dessa forma, quando se inclui uma fonte lipídica, o impacto no α -linolênico é muito maior do que no ácido linoleico. Isso indica o porquê mesmo com a inclusão de fontes lipídicas ricas em ácido linoleico, como o óleo de soja, é possível observar redução, e conseqüentemente, melhora na relação ômega 6:ômega 3 na gordura de suínos (Alencar et al., 2017).

Muitos trabalhos têm dado ênfase no enriquecimento da carne suína com ácidos graxos ômega 3, devido aos efeitos positivos sobre a saúde humana (Coats et al., 2009). Para isso, os trabalhos têm utilizado a linhaça, que possui uma grande quantidade de óleo rico em α -

linolênico, o que tem aumentado o conteúdo de ácidos graxos poli-insaturados ômega 3 no tecido adiposo e na gordura da carne (Corino et al., 2014).

Apesar disso, foi constatado que somente a carne não possuiria concentração suficiente de ácidos graxos ômega 3 para ser considerada um produto enriquecido com ômega 3, necessitando que durante a preparação dos cortes houvesse uma quantidade suficiente de gordura subcutânea para obter a concentração mínima (Turner et al., 2014). O fornecimento de 15% de semente de linhaça por 12 semanas, foi capaz de elevar a concentração de α -linolênico para 18,6%, e reduzir a relação ômega 6:ômega 3 para 0,68 (Juárez et al., 2010).

A conversão de α -linolênico em seus derivados de cadeia mais longa, como o EPA e DHA, é baixa em seres humanos (Williams e Burdge, 2006). Dessa forma, outro benefício do aumento no ácido α -linolênico na gordura suína, seria que o seu aumento levaria a maiores concentrações dos ácidos graxos ômega 3 de cadeia longa. Entretanto, diferentemente do que se esperava o incremento do α -linolênico na gordura não levou a aumentos nesses dois graxos ácidos, elevando a concentração do EPA e com resultados contrastantes (Juárez et al., 2010; Corino et al., 2014).

Alguns dos motivos para isso, seria de que a conversão de α -linolênico em EPA e DHA, requer atividade das enzimas elongase e dessaturase, e existe uma competição com os ácidos graxos poli-insaturados ômega 6 (Woods et al., 2009). Outra razão seria a de que a enzima Δ^6 -dessaturase tem preferência pelos ácidos graxos poli-insaturados de 18 carbonos em relação aqueles de cadeia longa (Portolesi et al., 2007).

Outra forma de obter esse efeito seria pelo uso de óleo de peixe, que é rico no EPA e DHA. Utilizando 6% desse óleo, foi possível aumentar a concentração em 522,73% e 628,57%, para os ácidos graxos EPA e DHA, respectivamente (Haak et al., 2008). A desvantagem desse tipo de suplementação é o odor de peixe que é transferido para a carne e pode levar os consumidores a rejeitarem o produto (Øverland et al., 1996; Wood et al., 2008).

Além da fonte de óleo, a duração e o nível de sua suplementação são fatores importantes que irão determinar qual será o impacto sobre o perfil lipídico da gordura (Raes et al., 2004). Avaliando três níveis de suplementação de linhaça (5, 10 e 15%) por quatro períodos (0, 4, 8 e 12 semanas antes do abate), Juárez et al. (2010) observaram efeito linear para a maioria dos ácidos graxos avaliados, e inclusive efeito quadrático para o ácido α -linolênico, indicando que a suplementação não aumenta a concentração indefinidamente.

Ainda existem muitas lacunas no conhecimento sobre o tema, sendo necessário mais estudos sobre a utilização de outras fonte lipídicas, a eficiência da transferência de ácidos graxos da dieta para a gordura animal, possíveis interações entre os ácidos graxos

suplementares e as consequências para a transferência eficaz para o produto, o verdadeiro impacto da suplementação dietética de ácidos graxos na saúde e bem-estar dos animais, o impacto do enriquecimento de ácidos graxos das dietas animais nos custos de produção, o efeito das mudanças de ácidos graxos na vida útil e qualidade do produto, a adoção e aplicação de uma estratégia de rastreabilidade da cadeia de abastecimento e qual a vontade do consumidor de pagar um preço premium por tais alimentos funcionais (Woods et al., 2009).

3.2. Cromo e Ácidos Graxos

Muitas pesquisas têm sido realizadas buscando encontrar aditivos que possam melhorar os resultados nas granjas e na indústria, com maior eficiência na produção, melhora no ganho de peso e na conversão alimentar, e produção de melhores carcaças, aumentando a quantidade de carne e reduzindo a gordura excedente. Nos últimos anos, a utilização do cromo nas dietas dos suínos tem sido avaliada (Wang et al., 2014; Marcolla et al., 2017; Sadeghi et al., 2017).

O cromo é um mineral traço essencial para os animais que existe em vários estados de oxidação, que variam de 2- a 6+, sendo os mais prevalentes o trivalente (3+) e hexavalente (6+), pois os outros estados são muito instáveis (Jeejeebhoy, 1999). Na forma hexavalente é considerado tóxico para humanos e animais, porém quando se encontra na forma trivalente é reconhecido como um nutriente essencial (Najafpanah et al., 2014), que está envolvido em no metabolismo de carboidratos, lipídios, proteínas e ácidos nucleicos (Emami et al., 2012).

As formas utilizadas na alimentação animal podem ser inorgânicas e orgânicas. As inorgânicas, como cloreto de cromo e óxido de cromo, são pouco absorvidas pelos animais, com taxa de absorção média estimada em 0,5%. Por conta disso, muitos tipos de complexos minerais orgânicos foram desenvolvidos e introduzidos no mercado, pois a forma orgânica pode ser facilmente absorvida no trato gastrintestinal devido ao seu baixo peso molecular em comparação à forma inorgânica. (Ohh e Lee, 2005).

Dentre as formas orgânicas, existem o picolinato de cromo, o nicotinato de cromo, o cromo-metionina, o cromo levedura (Shelton et al., 2003) e o propionato de cromo (Lindemann et al., 2008). Esses produtos possuem a molécula de cromo ligada a um composto orgânico de forma a melhorar a sua absorção (Lien et al., 2001), chegando a ser até dez vezes mais biodisponíveis do que as fontes inorgânicas (Shelton et al., 2003).

Atualmente, não existe uma recomendação nutricional de cromo na dieta de suínos, devido a variabilidade da concentração de cromo nos ingredientes e ao desempenho inconsistente nos estudos (Gebhardt et al., 2018). Porém, sabe-se que ocorre uma redução na concentração de cromo nos tecidos conforme ocorre aumento da massa corporal (Lindemann,

2008). Este fato, associado ao baixo teor de cromo nos grãos e a grande perda que ocorre durante o processamento, levou-se a acreditar que os animais sejam deficientes e sua suplementação seria positiva para o desempenho (Lien et al., 2001).

Acredita-se que o cromo afete o metabolismo dos animais pela ação da insulina (Vincent et al., 2004) e ao que tudo indica, uma molécula chamada de cromodulina seria o provável oligopeptídeo responsável por sua atividade (Gebhardt et al., 2018). Essa molécula é formada por quatro tipos de resíduos de aminoácidos (glicina, cisteína, glutamato e aspartato) e se liga a quatro íons de cromo para formar um complexo com quatro núcleos (Pechova e Pavlata, 2007).

O aumento da concentração de glicose no sangue leva à liberação rápida de insulina. Em seguida a insulina se liga ao receptor na célula, provocando uma alteração na sua conformação que resulta na autofosforilação dos resíduos de tirosina no lado interno do receptor. Esse processo transforma o receptor em uma tirosina quinase ativa e transmite o sinal da insulina para a célula. Em resposta à insulina, o cromo é transferido do sangue para células sensíveis à insulina (tecido muscular e adiposo). O fluxo do cromo resulta no sequestro dele pela apocromodulina dentro da célula, formando a holocromodulina. Essa nova molécula se liga ao receptor de insulina, auxiliando na manutenção do receptor em sua conformação ativa, amplificando sua atividade quinase. Quando as concentrações sanguíneas de insulina diminuem e a sinalização do receptor deve ser interrompida, a cromodulina pode ser eliminada das células (Vincent et al., 2004).

Portanto, o cromo tem um efeito aprimorador na ligação da insulina, mas também aumenta o número de receptores de insulina na superfície celular e a sensibilidade das células β pancreáticas juntamente com um aumento geral da sensibilidade à insulina (Anderson, 1997). Devido a esse efeito, a insulina no plasma é menor nos suínos suplementados com cromo (Amoikon et al., 1995; Lien et al., 2001), assim como os ácidos graxos não esterificados (Lien et al., 2001; Li et al., 2017), a ureia (Lien et al., 2001), o cortisol (Xi et al., 2000; Hung et al., 2014), e os triglicerídeos (Lien et al., 2001).

Devido à elevação da atividade da insulina, ocorre estímulo no transporte de aminoácidos e síntese de proteínas nas células musculares (Evans e Bowman, 1992). Em conjunto com o aumento da secreção do hormônio do crescimento (Wang et al., 2008) e IGF-I (Xi et al., 2000), se explicaria porque alguns trabalhos observam incrementos no desempenho (Li et al., 2017) e aumento na área de olho de lombo (Xi et al., 2000; Khajarern et al., 2006; Li et al., 2013; Pamei et al., 2014; Caramori et al., 2017).

O cromo também reduz a expressão de genes das enzimas envolvidas na lipogênese (Wang et al., 2014; Sadeghi et al., 2015), portanto reduzindo a quantidade de gordura subcutânea dos animais (Grela et al., 1997; Xi et al., 2000; Li et al., 2013; Pamei et al., 2014), e possivelmente alterando a composição dos ácidos graxos depositados.

Uma meta-análise que avaliou a adição de cromo na dieta de suínos em terminação confirmou esses resultados para desempenho e características de carcaça, observando melhorias positivas no ganho de peso diário e conversão alimentar, além de reduzir a gordura em excesso e aumentar a porcentagem de carne magra (Sales e Jancik, 2011).

Entretanto, ainda não houve uma meta-análise da utilização do cromo sobre o perfil de ácidos graxos da gordura suína. Um compilado dos trabalhos que avaliaram essa característica (Tabela 2) mostra que os efeitos observados para a suplementação com cromo na dieta de suínos são variáveis.

Tabela 2. Efeito da suplementação de cromo sobre o perfil de ácidos graxos da gordura de suínos em relação ao tratamento controle.

Fonte ¹	Concentração	Ácidos Graxos ²			Referências
		AGS	AGMI	AGPI	
<i>Gordura subcutânea</i>					
Cr Levedura	0,2 ppm	-6,0%	-	+16,6%	Grela et al. (1997)
Cr Levedura	0,5 ppm	-6,1%	-	+17,9%	Grela et al. (1997)
Cr Picolinato	0,2 ppm	+13,4	-	-7,3%	Lien et al. (2001)
Cr Picolinato	0,4 ppm	+7,8%	-	-5,8%	Lien et al. (2001)
Cr Propionato	0,2 ppm	-	-	-13,3%	Jackson et al. (2009)
Cr Picolinato	0,2 ppm	-	-	+13,5%	Burgos et al. (2016)
Cr Picolinato	0,2 ppm	-	-	-	Untea et al. (2017)
<i>Gordura da carne</i>					
Cr Levedura	0,2 ppm	-	-	+9,8%	Grela et al. (1997)
Cr Levedura	0,5 ppm	-	-	+15,0%	Grela et al. (1997)
Cr Propionato	0,2 ppm	-	-	-	Jackson et al. (2009)
Cr Nicotinato	0,75 ppm	-	+1,8%	-	Bučko et al. (2013)
Cr Nicotinato	0,75 ppm	-	+3,8%	+12,2%	Bučko et al. (2015)
Cr Picolinato	0,2 ppm	-	-6,5%	+13,2%	Burgos et al. (2016)
Cr Picolinato	0,2 ppm	-	-	-	Untea et al. (2017)

¹Cr Levedura: cromo levedura; Cr Picolinato: cromo picolinato; Cr Picolinato: cromo picolinato.

²AGS: ácidos graxos saturados; AGMI: ácidos graxos monoinsaturados; AGPI: ácidos graxos poli-insaturados.

Com exceção de um resultado contraditório observado (Lien et al., 2001), os trabalhos indicam que ocorre aumento nos ácidos graxos poli-insaturados na gordura subcutânea e na carne, com redução dos ácidos graxos saturados apenas na gordura subcutânea e aumento nos ácidos graxos monoinsaturados somente na carne. Possivelmente, pela redução na síntese *de*

novo, reduzindo a quantidade de gordura subcutânea e, conseqüentemente, a de ácidos graxos saturados.

As diferenças encontradas podem ter relação não somente com a fonte de cromo e a concentração utilizada, mas também devido a outros fatores que podem afetar o perfil lipídico, como o sexo, manejo, alimentação, categoria, entre outros (Lindeman, 2008). Há evidências de que a suplementação de cromo também é função do tempo de suplementação (Lindemann et al., 1995), como observado em outros trabalhos, onde influenciou no desempenho e nas características de carcaça (Boleman et al., 1995; Sales e Jancik, 2011; Gebhardt et al., 2016; Caramori Júnior et al., 2017), e possivelmente poderia afetar a concentração dos ácidos graxos. Sendo que até o momento, não existem trabalhos que avaliaram o período de suplementação sobre essa característica.

Conclui-se que fontes lipídicas e o cromo modificam o perfil de ácidos graxos da gordura suína, e a identificação de como isso ocorre é importante para se adequar a dieta. Dessa forma, foram realizados dois trabalhos buscando preencher algumas lacunas do conhecimento sobre o efeito dessas dietas nos ácidos graxos depositados pelos suínos. Resultando nos artigos intitulados “**Óleo de soja na dieta modula a composição de ácidos graxos da gordura suína**” e “**Período de suplementação do cromo levedura no perfil lipídico da gordura suína**” (*Artigo Aceito*) redigidos de acordo com as normas de elaboração de teses do programa de doutorado em Ciência Animal e adaptações às normas das revistas “Revista Brasileira de Zootecnia” e “Anais da Academia Brasileira de Ciências”, respectivamente.

REFERÊNCIAS

ABREU, R. C. D.; KIEFER, C.; ALVES, F. V.; COELHO, R. G.; MARÇAL, D. A.; RODRIGUES, G. P. Perfil lipídico da carne e gordura de suínos alimentados com milho. **Ciência Rural**, v.44, n.1, p.135-140, 2014.

AHMED, S. T.; MUN, H. S.; ISLAM, M. M.; KO, S. Y.; YANG, C. J. Effects of dietary natural and fermented herb combination on growth performance, carcass traits and meat quality in grower-finisher pigs. **Meat Science**, v.122, p.7-15, 2016.

ALENCAR, S. A. D. S.; KIEFER, C.; NASCIMENTO, K. M. R. D. S.; VIANA, L. H.; GONÇALVES, L. M. P.; ROCHA, G. C.; CORASSA, A.; SANTOS, A. P. D. Net energy levels on the lipid profile of pork. **Ciência Rural**, v.47, n.10, 2017.

ALEXANDER, D. D.; MILLER, P. E.; VAN ELSWYK, M. E.; KURATKO, C. N.; BYLSMA, L. C. A meta-analysis of randomized controlled trials and prospective cohort studies of eicosapentaenoic and docosahexaenoic long-chain omega-3 fatty acids and coronary heart disease risk. In: Mayo Clinic Proceedings. **Elsevier**, 2017. p. 15-29.

ALONSO, V.; NAJES, L. M.; PROVINCIAL, L.; GUILLÉN, E.; GIL, M.; RONCALÉS, P.; BELTRÁN, J. A. Influence of dietary fat on pork eating quality. **Meat Science**, v.92, n.4, p.366-373, 2012.

ALONSO, V.; MUELA, E.; GUTIÉRREZ, B.; CALANCHE, J. B.; RONCALÉS, P.; BELTRÁN, J. A. The inclusion of Duroc breed in maternal line affects pork quality and fatty acid profile. **Meat Science**, v.107, p.49-56, 2015.

AMOIKON, E. K.; FERNANDEZ, J. M.; SOUTHERN, L. L.; THOMPSON JR, D. L.; WARD, T. L.; OLCOTT, B. M. Effect of chromium tripicolinate on growth, glucose tolerance, insulin sensitivity, plasma metabolites, and growth hormone in pigs. **Journal of Animal Science**, v.73, n.4, p.1123-1130, 1995.

ANDERSON, R. A. Nutritional factors influencing the glucose/insulin system: Chromium. **Journal of American College Nutrition**, v.16, p.404-410, 1997.

APPLE, J. K.; MAXWELL, C. V.; GALLOWAY, D. L.; HUTCHISON, S.; HAMILTON, C. R. Interactive effects of dietary fat source and slaughter weight in growing-finishing swine: I. Growth performance and longissimus muscle fatty acid composition. **Journal of Animal Science**, v.87, n.4, p.1407-1422, 2009a.

APPLE, J. K.; MAXWELL, C. V.; GALLOWAY, D. L.; HAMILTON, C. R.; YANCEY, J. W. S. Interactive effects of dietary fat source and slaughter weight in growing-finishing swine: II. Fatty acid composition of subcutaneous fat. **Journal of Animal Science**, v.87, n.4, p.1423-1440, 2009b.

APPLE, J. K.; MAXWELL, C. V.; GALLOWAY, D. L.; HAMILTON, C. R.; YANCEY, J. W. S. Interactive effects of dietary fat source and slaughter weight in growing-finishing swine: III. Carcass and fatty acid compositions. **Journal of Animal Science**, v.87, n.4, p.1441-1454, 2009c.

ASCHERIO, A. Epidemiologic studies on dietary fats and coronary heart disease. **The American Journal of Medicine**, v.113, n.9, p.9-12, 2002.

AZAIN, M. J. Role of fatty acids in adipocyte growth and development. **Journal of Animal Science**, v.82, n.3, p.916-924, 2004.

BEE, G.; GEBERT, S.; MESSIKOMMER, R. Effect of dietary energy supply and fat source on the fatty acid pattern of adipose and lean tissues and lipogenesis in the pig. **Journal of Animal Science**, v.80, n.6, p.1564-1574, 2002.

BEE, G.; GUEX, G.; HERZOG, W. Free-range rearing of pigs during the winter: adaptations in muscle fiber characteristics and effects on adipose tissue composition and meat quality traits. **Journal of Animal Science**, v.82, n.4, p.1206-1218, 2004.

BERGOUIGNAN, A.; MOMKEN, I.; SCHOELLER, D. A.; SIMON, C.; BLANC, S. Metabolic fate of saturated and monounsaturated dietary fats: the Mediterranean diet revisited from epidemiological evidence to cellular mechanisms. **Progress in Lipid Research**, v.48, n.3-4, p.128-147, 2009.

BHUPATHIRAJU, S. N.; TUCKER, K. L. Coronary heart disease prevention: nutrients, foods, and dietary patterns. **Clinica Chimica Acta**, v.412, n.17-18, p.1493-1514, 2011.

BUČKO, O.; LEHOTAYOVÁ, A.; HAŠČÍK, P.; BAHELKA, I.; GÁBOR, M.; BOBKO, M.; DEBRECÉNI, O.; TREMBECKÁ, L. Effect Of Chromium Nicotinate On Oxidative Stability, Chemical Composition And Meat Quality Of Growing-Finishing Pigs. **Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences**, v.9, n.1, p.562-572, 2015.

BUČKO, O.; VAVRIŠÍNOVÁ, K.; PETRAK, J.; DEBRECENI, O.; HELLOVÁ, D. The analysis of pork quality affected by diet containing organic chromium. **Acta Fytotechnica et Zootechnica**, v.16, n.1, 2013.

BURGOS, C.; LATORRE, P.; LÓPEZ-BUESA, P. The effects of chromium picolinate and simvastatin on pig serum cholesterol contents in swine muscular and adipose tissues. **Livestock Science**, v.185, p.74-78, 2016.

CALDARA, F. R.; SANTOS, L. S.; SANTOS, C. T.; FOPPA, L.; GARCIA, R. G.; NÄÄS, I. A.; S NIETO, V. M. O. Lipid profile of immunocastrated, castrated male and female pigs. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.70, n.3, p.1004-1008, 2018.

CALDER, P. C. n-3 Fatty acids and cardiovascular disease: evidence explained and mechanisms explored. **Clinical Science**, v.107, n.1, 1-11, 2004.

CAMERON, N. D.; ENSER, M. B. Fatty acid composition of lipid in longissimus dorsi muscle of Duroc and British Landrace pigs and its relationship with eating quality. **Meat Science**, v.29, n.4, p.295-307, 1991.

CARAMORI JÚNIOR, J. G.; KIEFER, C.; FERREIRA, E. V.; VIEIRA, B. S.; OLIVEIRA, H. C.; SILVA, C. M.; ABREU, R. C.; DE LUNA, U. V. Chromium and selenium-enriched yeast for castrated finishing pigs: effects on performance and carcass characteristics. **Semina: Ciências Agrárias**, v.38, n.6, p.3851-3859, 2017.

CAVA, R.; RUIZ, J.; LÓPEZ-BOTE, C.; MARTÍN, L.; GARCÍA, C.; VENTANAS, J.; ANTEQUERA, T. Influence of finishing diet on fatty acid profiles of intramuscular lipids, triglycerides and phospholipids in muscles of the Iberian pig. **Meat Science**, v.45, n.2, p.263-270, 1997.

CHOI, Y. S.; LEE, J. K.; JUNG, J. T.; JUNG, Y. C.; JUNG, J. H.; JUNG, M. O.; CHOI, J. S. Comparison of meat quality and fatty acid composition of longissimus muscles from purebred pigs and three-way crossbred LYD pigs. **Korean Journal for Food Science of Animal Resources**, v.36, n.5, 689, 2016.

CHOWDHURY, R.; WARNAKULA, S.; KUNUTSOR, S.; CROWE, F.; WARD, H. A.; JOHNSON, L.; FRANCO, O. H.; BUTTERWORTH, A. S.; FOROUHI, N. G.; THOMPSON S. G.; et al. Association of dietary, circulating, and supplement fatty acids with coronary risk: a systematic review and meta-analysis. **Annals of Internal Medicine**, v.160, p.398–406, 2014.

COATS, A. M.; SIOUTIS, S.; BUCKLEY, J. D.; HOWE, P. R. C. Regular consumption of n-3 fatty acid-enriched pork modifies cardiovascular risk factors. **British Journal of Nutrition**, v.101, n.4, p.592–597, 2009.

CONNOR, W. E. Importance of n- 3 fatty acids in health and disease. **The American journal of Clinical Nutrition**, v.71, n.1, p.171-175, 2000.

CORINO, C.; ROSSI, R.; CANNATA, S.; RATTI, S. Effect of dietary linseed on the nutritional value and quality of pork and pork products: Systematic review and meta-analysis. **Meat Science**, v.98, n.4, p.679-688, 2014.

COROMINAS, J.; RAMAYO-CALDAS, Y.; PUIG-OLIVERAS, A.; ESTELLÉ, J.; CASTELLÓ, A.; ALVES, E.; PENA, R. N.; BALLESTER, M.; FOLCH, J. M. Analysis of porcine adipose tissue transcriptome reveals differences in de novo fatty acid synthesis in pigs with divergent muscle fatty acid composition. **BMC Genomics**, v.14, n.1, 843, 2013.

DALLA BONA, M.; SCHIAVON, S.; CARRARO, L.; GALLO, L. Growth performance, carcass traits and meat quality of growing pigs on different feeding regimes slaughtered at 145 kg BW. **Italian Journal of Animal Science**, v.15, n.3, p.419-427, 2016.

DAVOLI, R.; CATILLO, G.; SERRA, A.; ZAPPATERRA, M.; ZAMBONELLI, P.; ZILIO, D. M.; STERI, R.; MELE, M.; BUTAZZONI, L.; RUSSO, V. Genetic parameters of backfat fatty acids and carcass traits in Large White pigs. **Animal**, v.13, n.5, p.924-932, 2018.

DAVIES, A. S.; PRYOR, W. J. Growth changes in the distribution of dissectable and intramuscular fat in pigs. **The Journal of Agricultural Science**, 89(2), 257-266, 1977.

DEL GOBBO, L. C.; IMAMURA, F.; ASLIBEKYAN, S.; MARKLUND, M.; VIRTANEN, J. K.; WENNERBERG, M.; et al. ω -3 polyunsaturated fatty acid biomarkers and coronary heart disease: pooling project of 19 cohort studies. **JAMA Internal Medicine**, v.176, n.8, p.1155-1166, 2016.

DUGAN, M. E.; VAHMANI, P.; TURNER, T. D.; MAPIYE, C.; JUÁREZ, M.; PRIETO, N.; BEAULIEU, A. D.; ZIJLSTRA, R. T.; PATIENCE, J. F.; AALHUS, J. L. Pork as a source of omega-3 (n-3) fatty acids. **Journal of Clinical Medicine**, v.4, n.12, p.1999-2011, 2015.

DURAN-MONTGÉ, P.; REALINI, C. E.; BARROETA, A. C.; LIZARDO, R. G.; ESTEVE-GARCIA, E. De novo fatty acid synthesis and balance of fatty acids of pigs fed different fat sources. **Livestock Science**, v.132, n.1-3, 157-164, 2010.

EVANS, G. W.; BOWMAN, T. D. Chromium picolinate increases membrane fluidity and rate of insulin internalization. **Journal of Inorganic Biochemistry**, v.46, p.243-250, 1992.

EMAMI, A.; ZALI, A.; GANJKHANLOU, M.; AKBARI AFJANI, A. Nutrient digestibility, carcass characteristics and plasma metabolites in kids fed diets supplemented with chromium methionine. **Online Journal of Animal and Feed Research**, v.2, p.127-132, 2012.

FATTORE, E.; BOSETTI, C.; BRIGHENTI, F.; AGOSTONI, C.; FATTORE, G. Palm oil and blood lipid-related markers of cardiovascular disease: a systematic review and meta-analysis of dietary intervention trials. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v.99, n.6, p.1331-1350, 2014.

FELDMAN, E. B. Assorted monounsaturated fatty acids promote healthy hearts. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v.70, n.6, p.953-954, 1999.

FRANCO, D.; VAZQUEZ, J. A.; LORENZO, J. M. Growth performance, carcass and meat quality of the Celta pig crossbred with Duroc and Landrace genotypes. **Meat Science**, v.96, n.1, p.195-202, 2014.

GARCÍA-MACÍAS, J. A.; GISPERT, M.; OLIVER, M. A.; DIESTRE, A.; ALONSO, P.; MUÑOZ-LUNA, A.; SIGGENS, K.; CUTHBERT-HEAVENS, D. The effects of cross, slaughter weight and halothane genotype on leanness and meat and fat quality in pig carcasses. **Animal Science**, v.63, n.3, p.487-496, 1996.

GEBHARDT, J. T.; WOODWORTH, J. C.; TOKACH, M. D.; DEROUCHÉY, J. M.; GOODBAND, R. D.; LOUGHMILLER, J. A.; SOUZA, A. L. P.; DRITZ, S. S. Influence of chromium propionate dose and feeding regimen on growth performance and carcass composition of pigs housed in a commercial environment. **Translational Animal Science**, v.3, n.1, p.384-392, 2019.

GILLINGHAM, L. G.; HARRIS-JANZ, S.; JONES, P. J. Dietary monounsaturated fatty acids are protective against metabolic syndrome and cardiovascular disease risk factors. **Lipids**, v.46, n.3, p.209-228, 2011.

GIVENS, D. I.; KLIEM, K. E.; GIBBS, R. A. The role of meat as a source of n-3 polyunsaturated fatty acids in the human diet. **Meat Science**, v.74, n.1, p.209-218, 2006.

GJERLAUG-ENGER, E.; HAUG, A.; GAARDER, M.; LJØKJEL, K.; STENSETH, R. S.; SIGFRIDSON, K.; EGELANDSDA, B.; SAAREM, K. BERG, P. Pig feeds rich in rapeseed products and organic selenium increased omega-3 fatty acids and selenium in pork meat and backfat. **Food Science & Nutrition**, v.3, n.2, p.120-128, 2015.

GRELA, E. R.; STUDZINSKI, T.; RABOS, A.; WINIARSKA, A.; DZIDUCH, J. Effect of a chromium yeast supplement in growing-finishing pig diets on performance, carcass traits and fatty acid composition of adipose tissue. **Journal of Animal and Feed Sciences**, v.6, n.1, p.87-100, 1997.

GRUNDY, S.M. Monounsaturated fatty acids and cholesterol metabolism. Implications for dietary recommendations. **The Journal of Nutrition**, v.119, n.4, p.529-33, 1989.

HAAK, L.; DE SMET, S.; FREMAUT, D.; VAN WALLEGHEM, K.; RAES, K. Fatty acid profile and oxidative stability of pork as influenced by duration and time of dietary linseed or fish oil supplementation. **Journal of Animal Science**, v.86, n.6, p.1418-1425, 2008.

HALLENSTVEDT, E.; KJOS, N. P.; ØVERLAND, M.; THOMASSEN, M. Changes in texture, colour and fatty acid composition of male and female pig shoulder fat due to different dietary fat sources. **Meat Science**, v.90, n.3, p.519-527, 2012.

HALLENSTVEDT, E.; KJOS, N. P.; REHNBERG, A. C.; ØVERLAND, M.; THOMASSEN, M. Fish oil in feeds for entire male and female pigs: Changes in muscle fatty acid composition and stability of sensory quality. **Meat Science**, v.85, n.1, p.182-190, 2010.

HALS, P. A.; WANG, X.; XIAO, Y. F. Effects of a purified krill oil phospholipid rich in long-chain omega-3 fatty acids on cardiovascular disease risk factors in non-human primates with naturally occurring diabetes type-2 and dyslipidemia. **Lipids in Health and Disease**, v.16, n.1, 2017.

HAMMAD, S.; PU, S.; JONES, P. J. Current evidence supporting the link between dietary fatty acids and cardiovascular disease. **Lipids**, v.51, n.5, p.507-517, 2016.

HARRIS, W. S.; MILLER, M.; TIGHE, A. P.; DAVIDSON, M. H.; SCHAEFER, E. J. Omega-3 fatty acids and coronary heart disease risk: clinical and mechanistic perspectives. **Atherosclerosis**, 197(1), 12-24, 2008.

HARRIS, W. S.; MOZAFFARIAN, D.; RIMM, E.; KRIS-ETHERTON, P.; RUDEL, L. L.; APPEL, L. J.; ENGLER, M. M.; ENGLER, M. B.; SACKS, F. Omega-6 fatty acids and risk for cardiovascular disease: a science advisory from the American Heart Association Nutrition Subcommittee of the Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism; Council on Cardiovascular Nursing; and Council on Epidemiology and Prevention. **Circulation**, v. 119, n.6, p. 902-907, 2009.

HARRIS, W. S. The Omega-6:Omega-3 ratio: A critical appraisal and possible successor. **Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids**, v. 132, p. 34-40, 2018.

HAUSMAN, G. J.; DODSON, M. V.; AJUWON, K.; AZAIN, M.; BARNES, K. M.; GUAN, L. L.; JIANG, Z.; POULOS, S. P.; SAINZ, R. D.; SMITH, S.; SPURLOCK, M.; NOVAKOFSKI, J.; FERNYHOUGH, M. E.; BERGEN W. G. Board-invited review: the biology and regulation of preadipocytes and adipocytes in meat animals. **Journal of Animal Science**, v.87, n.4, p.1218-1246, 2009.

HAUTRIVE, T. P.; MARQUES, A.; KUBOTA, E. H. Avaliação da composição centesimal, colesterol e perfil de ácidos graxos de cortes cárneos comerciais de avestruz, suíno, bovino e frango. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v.23, n.2, p.327-334, 2012.

HOLY, E. W.; FORESTIER, M.; RICHTER, E. K.; AKHMEDOV, A.; LEIBER, F.; CAMICI, G. G.; et al. Dietary α -linolenic acid inhibits arterial thrombus formation, tissue factor expression, and platelet activation. **Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology**, v. 31, n. 8, p. 1772-1780, 2011.

HUNG, A. T.; LEURY, B. J.; SABIN, M. A.; COLLINS, C. L.; DUNSHEA, F. R. Dietary nano-chromium tripicolinate increases feed intake and decreases plasma cortisol in finisher gilts during summer. **Tropical Animal Health and Production**, v.46, n.8, p.1483-1489, 2014.

JACKSON, A. R.; POWELL, S.; JOHNSTON, S. L.; MATTHEWS, J. O.; BIDNER, T. D.; VALDEZ, F. R.; SOUTHERN, L. L. The effect of chromium as chromium propionate on growth performance, carcass traits, meat quality, and the fatty acid profile of fat from pigs fed no supplemented dietary fat, choice white grease, or tallow. **Journal of Animal Science**, v.87, n.12, p.4032-4041, 2009.

JATURASITHA, S.; CHAIWANG, N.; KAYAN, A.; KREUZER, M. Nutritional strategies to improve the lipid composition of meat, with emphasis on Thailand and Asia. **Meat Science**, v.120, p.157-166, 2016.

JEEJEEBHOY K. N. Chromium and parenteral nutrition. **Journal of Trace Elements in Experimental Medicine**, v.12, p.85–89, 1999.

JIANG, Q.; LI, C.; YU, Y.; XING, Y.; XIAO, D.; ZHANG, B. Comparison of fatty acid profile of three adipose tissues in Ningxiang pigs. **Animal Nutrition**, v.4, n.3, p.256-259, 2018.

JUÁREZ, M.; DUGAN, M. E. R.; ALDAI, N.; AALHUS, J. L.; PATIENCE, J. F.; ZIJLSTRA, R. T.; BEAULIEU, A. D. Feeding co-extruded flaxseed to pigs: Effects of duration and feeding level on growth performance and backfat fatty acid composition of grower–finisher pigs. **Meat Science**, v.84, n.3, p.578-584, 2010.

JUÁREZ, M.; DUGAN, M. E. R.; LÓPEZ-CAMPOS, Ó.; PRIETO, N.; UTTARO, B.; GARIÉPY, C.; AALHUS, J. L. Relative contribution of breed, slaughter weight, sex, and diet to the fatty acid composition of differentiated pork. **Canadian Journal of Animal Science**, v.97, n.3, p.395-405, 2016.

JUMP, D. B.; BOTOLIN, D.; WANG, Y.; XU, J.; CHRISTIAN, B.; DEMEURE, O. Fatty acid regulation of hepatic gene transcription. **The Journal of Nutrition**, v.135, n.11, p.2503-2506, 2005.

KASPRZYK, A.; TYRA, M.; BABICZ, M. Fatty acid profile of pork from a local and a commercial breed. **Archives of Animal Breeding**, v.58, n.2, p.379, 2015.

KHAJARERN, J.; KHAJARERN, S.; ASHMEAD, H. D.; ASHMEAD, S. D. The effect of chromium bisglycinate-nicotinamide chelate supplementation on growth and carcass quality

in growing and finishing pigs. **International Journal of Applied Research in Veterinary Medicine**, v.4, n.3, p.193, 2006.

KIM, J. S.; INGALE, S.; LEE, S. H.; CHOI, Y. H.; KIM, E. H.; LEE, D. C.; KIM, Y. H.; CHAE, B. J. Impact of dietary fat sources and feeding level on adipose tissue fatty acids composition and lipid metabolism related gene expression in finisher pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v.196, p.60-67, 2014.

KLOAREG, M.; NOBLET, J.; VAN MILGEN, J. Deposition of dietary fatty acids, de novo synthesis and anatomical partitioning of fatty acids in finishing pigs. **British Journal of Nutrition**, v.97, n.1, p.35-44, 2007.

KOUBA, M.; ENSER, M.; WHITTINGTON, F. M.; NUTE, G. R.; WOOD, J. D. Effect of a high-linolenic acid diet on lipogenic enzyme activities, fatty acid composition, and meat quality in the growing pig. **Journal of Animal Science**, v.81, n.8, p.1967-1979, 2003.

KOZLOSKI, G. V. **Bioquímica dos Ruminantes**. 2ª ed. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2009. 216 p.

KROMHOUT, D.; MENOTTI, A.; BLOEMBERG, B.; et al. Dietary saturated and trans fatty acids and cholesterol and 25-year mortality from coronary heart disease: the Seven Countries Study. **Preventive Medicine**, v.24, p.308-315, 1995.

LAMARCHE, B.; COUTURE, P. Dietary fatty acids, dietary patterns, and lipoprotein metabolism. **Current Opinion in Lipidology**, v.26, n.1, p.42-47, 2015.

LEBRET, B.; GUILLARD, A. S. Outdoor rearing of cull sows: Effects on carcass, tissue composition and meat quality. **Meat Science**, v.70, n.2, p.247-257, 2005.

LEWIS, A. J.; SOUTHERN, L. L. (2000). **Swine Nutrition**. CRC press.

LIAO, L.; LI, W.; LIU, Y.; LI, J.; ZHUANG, X.; LIAO, X. Exploring the causal pathway from omega-6 levels to coronary heart disease: A network Mendelian randomization study. **Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases**, 2019.

LI, M.; WU, H.; LUO, Z.; XIA, Y.; GUAN, J.; WANG, T. et al. An atlas of DNA methylomes in porcine adipose and muscle tissues. **Nature Communications**, v.3, n.1, p.1-11, 2012.

LI, T.; FU, C.; LIEN, T. Effects of nanoparticle chromium on chromium absorbability, growth performance, blood parameters and carcass traits of pigs. **Animal Production Science**, v.57, n.6, p.1193-1200, 2017.

LI, Y. S.; ZHU, N. H.; NIU, P. P.; SHI, F. X.; HUGHES, C. L.; TIAN, G. X.; HUANG, R. H. Effects of dietary chromium methionine on growth performance, carcass composition, meat colour and expression of the colour-related gene myoglobin of growing-finishing pigs. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v.26, n.7, p.1021, 2013.

LIBBY P. Current concepts of the pathogenesis of the acute coronary syndromes. **Circulation**, v.104, n.3, p.365-372, 2001.

LIEN, T. F.; WU, C. P.; WANG, B. J.; SHIAO, M. S.; SHIAO, T. Y.; LIN, B. H.; LU, J. J. HU, C. Y. Effect of supplemental levels of chromium picolinate on the growth performance, serum traits, carcass characteristics and lipid metabolism of growing-finishing pigs. **Animal Science**, v.72, n.2, p.289-296, 2001.

LINDEMANN, M. D.; CROMWELL, G. L.; MONEGUE, H. J.; PURSER, K. W. Effect of chromium source on tissue concentration of chromium in pigs. **Journal of Animal Science**, v.86, n.11, p.2971-2978, 2008.

LINDEMANN, M. D.; WOOD, C. M.; HARPER, A. F.; KORNEGAY, E. T.; ANDERSON, R. A. Dietary chromium picolinate additions improve gain: feed and carcass characteristics in growing-finishing pigs and increase litter size in reproducing sows. **Journal of Animal Science**, v.73, n.2, p.457-465, 1995.

LIZARDO, R.; VAN MILGEN, J.; MOUROT, J.; NOBLET, J.; BONNEAU, M. Modélisation du dépôt de lipides et de la composition en acides gras du tissu adipeux au cours de la croissance du porc. **Journées Recherche Porcine en France**, v.32, 2000.

LOCK, A. L.; BAUMAN, D. E. Modifying milk fat composition of dairy cows to enhance fatty acids beneficial to human health. **Lipids**, v.39, p.1197-1206, 2004.

LORENZO, J. M.; DOMÍNGUEZ, R.; FRANCO, D.; PURRIÑOS, L.; MOURE, M. P.; PIEDRA, R. B. Effect of slaughter age on the fatty acid profile of Celta pig breed. **Archivos de Zootecnia**, v.1, p.227-230, 2018.

LUDKE, M. D. C. M. M.; LÓPEZ, J. Colesterol e composição dos ácidos graxos nas dietas para humanos e na carcaça suína. **Ciência Rural**, v.29, n.1, 181-187, 1999.

LUO, Y.; ZHANG, X.; ZHU, Z.; JIAO, N.; QIU, K.; YIN, J. Surplus dietary isoleucine intake enhanced monounsaturated fatty acid synthesis and fat accumulation in skeletal muscle of finishing pigs. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v.9, n.1, p.88, 2018.

MADDEN, J.; BRUNNER, A.; DASTUR, N. D.; TAN, R. M.; NASH, G. B.; RAINGER, G. E.; et al. Fish oil induced increase in walking distance, but not ankle brachial pressure index, in peripheral arterial disease is dependent on both body mass index and inflammatory genotype. **Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids**, v. 76, n. 6, p. 331-340, 2007.

MANSELL, K. O.; JANNI, K. A.; WALKER, R. D.; WILSON, M. E.; PETTIGREW, J. E.; JACOBSON, L. D.; WILCKE, W. F. Dust suppression in swine feed using soybean oil. **Journal of Animal Science**, v.73, n.4, p.981-985, 1995.

MAPIYE, C.; ALDAI, N.; TURNER, T. D.; AALHUS, J. L.; ROLLAND, D. C.; KRAMER, J. K. G.; DUGAN, M. E. R. The labile lipid fraction of meat: From perceived disease and waste to health and opportunity. **Meat science**, v.92, n.3, 210-220, 2012.

MARÇAL, D. A.; KIEFER, C.; NASCIMENTO, K. M. R. D. S.; BONIN, M. D. N.; CORASSA, A.; ALENCAR, S. A. D. S.; ABREU, R. C.; SILVA, J. L. D. Dietary net energy for gilts from 25 to 100 kg body weight. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.47, 2018.

MARCOLLA, C. S.; HOLANDA, D. M.; FERREIRA, S. V.; ROCHA, G. C.; SERÃO, N. V. L.; DUARTE, M. S.; ABREU, M. L. T.; SARAIVA, A. Chromium, CLA, and ractopamine for finishing pigs. **Journal of Animal Science**, v.95, n.10, p.4472-4480, 2017.

MARTIN, C. A.; ALMEIDA, V. V. D.; RUIZ, M. R.; VISENTAINER, J. E. L.; MATSHUSHITA, M.; SOUZA, N. E. D.; VISENTAINER, J. V. Ácidos graxos poliinsaturados ômega-3 e ômega-6: importância e ocorrência em alimentos. **Revista de Nutrição**, v.19, n.6, 761-770, 2006.

MARTINS, J. M.; NEVES, J. A.; FREITAS, A.; TIRAPICOS, J. L. Rearing system and oleic acid supplementation effect on carcass and lipid characteristics of two muscles from an obese pig breed. **Animal**, v.9, n.10, p.1721-1730, 2015.

MAS, G.; LLAVALL, M.; COLL, D.; ROCA, R.; DIAZ, I.; GISPERT, M.; OLIVER, M. A.; REALINI, C. E. Carcass and meat quality characteristics and fatty acid composition of tissues from Pietrain-crossed barrows and gilts fed an elevated monounsaturated fat diet. **Meat Science**, v.85, n.4, p.707-714, 2010.

MCAFEE, A. J.; MCSORLEY, E. M.; CUSKELLY, G. J.; MOSS, B. W.; WALLACE, J. M. W.; BONHAM, M. P.; FEARON, A. M. Red meat consumption: An overview of the risks and benefits. **Meat Science**, v.84, n.1, p.1-13, 2010.

MCDONALD, P.; EDWARDS, R. A.; GREENHALGH, J. F. D.; MORGAN, C. A.; SINCLAIR, L. A.; WILKINSON, R. G. 2010. **Animal Nutrition**. 7th (Ed) Longmans Scientific and Technological.

MICHA, R.; MOZAFFARIAN, D. Saturated fat and cardiometabolic risk factors, coronary heart disease, stroke, and diabetes: a fresh look at the evidence. **Lipids**, v.45, n.10, p.893-905, 2010.

MOREIRA, J. A.; OLIVEIRA, R. L. R. D.; SILVA, A. D. L. D.; MOTA, L. C.; CHAGAS, B. M. E. D.; MARINHO, A. L.; SOUZA, J. G.; TEIXEIRA, E. N. M. Meat properties and fatty acid profile of swine fed cashew bagasse bran in qualitative food restriction program. **Revista Brasileira de Zootecnia**, .47, 2018.

MOUROT, J.; KOUBA, M. Lipogenic enzyme activities in muscles of growing Large White and Meishan pigs. **Livestock Production Science**, v.55, n.2, p.127-133, 1998.

MOZAFFARIAN, D.; MICHA, R.; WALLACE, S. Effects on coronary heart disease of increasing polyunsaturated fat in place of saturated fat: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. **PLoS Medicine**, v.7, n.3, p.e1000252, 2010.

MUNRO, J. M.; COTRAN, R. A. The pathogenesis of atherosclerosis: atherogenesis and inflammation. **Lab Invest**, v.58, p.249-261, 1988.

NAJAFPANAH, M. J.; SADEGHI, M.; ZALI, A.; MORADI-SHAHREBABA, H.; MOUSAPOUR, H. Chromium downregulates the expression of Acetyl CoA Carboxylase 1 gene in lipogenic tissues of domestic goats: a potential strategy for meat quality improvement. **Gene**, v.543, n.2, p.253-258, 2014.

NEWMAN, W. P.; MIDDAUGH, J. P.; PROPST, M. T.; ROGERS, D. R. Atherosclerosis in Alaska Natives and non-natives. **Lancet**, v.341, p.1056–1057, 1993.

NEVRKLA, P.; KAPELAŃSKI, W.; VÁCLAVKOVÁ, E.; HADAŠ, Z.; CEBULSKA, A.; HORKÝ, P. Meat quality and fatty acid profile of pork and backfat from an indigenous breed and a commercial hybrid of pigs. **Annals of Animal Science**, v.17, n.4, p.1215-1227, 2017.

NGUYEN, L. Q.; NUIJENS, M. C. G. A.; EVERTS, H.; SALDEN, N.; BEYNEN, A. C. Mathematical relationships between the intake of n-6 and n-3 polyunsaturated fatty acids and their contents in adipose tissue of growing pigs. **Meat Science**, v.65, n.4, p.1399-1406, 2003.

NILZEN, V.; BABOL, J.; DUTTA, P. C.; LUNDEHEIM, N.; ENFÄLT, A. C.; LUNDSTRÖM, K. Free range rearing of pigs with access to pasture grazing—effect on fatty acid composition and lipid oxidation products. **Meat Science**, v.58, n.3, p.267-275, 2001.

NORDESTGAARD, B. G.; VARBO, A. Triglycerides and cardiovascular disease. **Lancet**, v.384, n.9943, p.626-635, 2014.

NORUM, K. R. Dietary fat and blood lipids. **Nutrition reviews**, 1992.

NTAWUBIZI, M.; RAES, K.; BUYS, N.; DE SMET, S. Effect of sire and sex on the intramuscular fatty acid profile and indices for enzyme activities in pigs. **Livestock Science**, v.122, n.2-3, p.264-270, 2009.

OHH, S. J.; LEE, J. Y. Dietary chromium-methionine chelate supplementation and animal performance. **Asian-australasian Journal of Animal Sciences**, v.18, n.6, p.898-907, 2005.

OLIVEIRA, S. G.; SIMAS, J. M. C.; SANTOS, F. A. P. Principais aspectos relacionados às alterações no perfil de ácidos graxos na gordura do leite de ruminantes. **Archives of Veterinary Science**, v.9, p.73-80, 2004.

ØVERLAND, M.; TAUGBØL, O.; HAUG, A.; SUNDSTØL, E. Effect of fish oil on growth performance, carcass characteristics, sensory parameters, and fatty acid composition in pigs. **Acta Agriculturae Scandinavica A-Animal Sciences**, v.46, n.1, p.11-17, 1996.

PAMEI, G.; GNANARAJ, P. T.; SIVAKUMAR, T.; JAWAHAR, K. T. P.; MUTHURAMALINGAM, T.; POTHAPPAN, P. Influence of dietary supplementation of chromium on the carcass traits of crossbred pigs. **Journal of Advanced Veterinary and Animal Research**, v.1, n.3, p.125-129, 2014.

PALMQUIST, D.L.; MATTOS, W.R.S. Metabolismo de lipídeos. In: BERCHIELLI, T.T. et al. **Nutrição de ruminantes**. Jaboticabal: FUNEP, 2006. Cap.10, p.287-310.

PARK, J. C.; KIM, S. C.; LEE, S. D.; JANG, H. C.; KIM, N. K.; LEE, S. H.; JUNG, H. J.; KIM, I. C.; SEONG, H. H.; CHOI, B. H. Effects of dietary fat types on growth performance, pork quality, and gene expression in growing-finishing pigs. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v.25, n.12, p.1759, 2012.

PATTERSON, E.; WALL, R.; FITZGERALD, G. F.; ROSS, R. P.; STANTON, C. Health implications of high dietary omega-6 polyunsaturated fatty acids. **Journal of nutrition and metabolism**, 2012.

PECHOVA, A.; PAVLATA, L. Chromium as an essential nutrient: a review. **Veterinarni Medicina-Praha-**, v.52, n.1, p.1, 2007.

PEINADO, J.; MEDEL, P.; FUENTETAJA, A.; MATEOS, G. G. Influence of gender and castration of females on growth performance and carcass and meat quality of heavy pigs destined to the dry-cured industry. **Journal of Animal Science**, v.86, p.1410–1417, 2008.

PISCHON, T.; HANKINSON, S. E.; HOTAMISLIGIL, G. S.; RIFAI, N.; WILLETT, W. C.; RIMM, E. B. Habitual dietary intake of n-3 and n-6 fatty acids in relation to inflammatory markers among US men and women. **Circulation**, v.108, n.2, p.155–160, 2003.

PORTOLESI, R.; POWELL, B. C.; GIBSON, R. A. Competition between 24:5n-3 and ALA for $\Delta 6$ desaturase may limit the accumulation of DHA in HepG2 cell membranes. **Journal of Lipid Research**, v.48, n.7, p.1592–1598, 2007.

POUDYAL, H.; BROWN, L. Should the pharmacological actions of dietary fatty acids in cardiometabolic disorders be classified based on biological or chemical function? **Progress in Lipid Research**, v.59, p.172–200, 2015.

PRAAGMAN, J.; BEULENS, J. W.; ALSSEMA, M.; ZOCK, P. L.; WANDERS, A. J.; SLUIJS, I.; VAN DER SCHOUW, Y. T. The association between dietary saturated fatty acids and ischemic heart disease depends on the type and source of fatty acid in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition–Netherlands cohort, 2. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v.103, n.2, p.356–365, 2016.

RAES, K.; DE SMET, S.; DEMEYER, D. Effect of dietary fatty acids on incorporation of long chain polyunsaturated fatty acids and conjugated linoleic acid in lamb, beef and pork meat: a review. **Animal Feed Science and Technology**, v.113, n.1-4, p.199–221, 2004.

RAJ, S.; SKIBA, G.; WEREMKO, D.; FANDREJEWSKI, H.; MIGDAL, W.; BOROWIEC, F.; POLAWSKA, E. The relationship between the chemical composition of the carcass and the fatty acid composition of intramuscular fat and backfat of several pig breeds slaughtered at different weights. **Meat Science**, v.86, n.2, p.324–30, 2010.

REALINI, C. E.; DURAN-MONTGÉ, P.; LIZARDO, R.; GISPERT, M.; OLIVER, M. A.; ESTEVE-GARCIA, E. Effect of source of dietary fat on pig performance, carcass characteristics and carcass fat content, distribution and fatty acid composition. **Meat Science**, v.85, n.4, p.606–612, 2010.

RENAUD, S.; DE LORGERIL, M. Dietary lipids and their relation to ischaemic heart disease: from epidemiology to prevention. **Journal of Internal Medicine**, v.225, p.39–46, 1989.

RUSSO, G. L. Dietary n-6 and n-3 polyunsaturated fatty acids: from biochemistry to clinical implications in cardiovascular prevention. **Biochemical Pharmacology**, v.77, n.6, p.937–946, 2009.

SADEGHI, M.; PANAH, M. J. N.; BAKHTIARIZADEH, M. R.; EMAMI, A. Transcription analysis of genes involved in lipid metabolism reveals the role of chromium in reducing body fat in animal models. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v.32, p.45-51, 2015.

SALES, J.; JANČÍK, F. Effects of dietary chromium supplementation on performance, carcass characteristics, and meat quality of growing-finishing swine: A meta-analysis. **Journal of Animal Science**, v.89, n.12, p.4054-4067, 2011.

SANDERS, T. A. Fat and fatty acid intake and metabolic effects in the human body. **Annals of Nutrition and Metabolism**, v.55, n.1-3, p.162-172, 2009.

SCHWINGSHACK, L.; HOFFMANN, G. Monounsaturated fatty acids and risk of cardiovascular disease: synopsis of the evidence available from systematic reviews and meta-analyses. **Nutrients**, v.4, n.12, p.1989-2007, 2012.

SHAEFER, E. J.; LEVY, R.L. Pathogenesis and management of lipoprotein disorders. **The New England Journal of Medicine**, v.312, p.1300-1310, 1985.

SHELTON, J. L.; PAYNE, R. L.; JOHNSTON, S. L.; BIDNER, T. D.; SOUTHERN, L. L.; ODGAARD, R. L.; PAGE, T. G. Effect of chromium propionate on growth, carcass traits, pork quality, and plasma metabolites in growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, v.81, n.10, p.2515-2524, 2003.

SIMOPOULOS, A. P. The importance of the omega-6/omega-3 fatty acid ratio in cardiovascular disease and other chronic diseases. **Experimental Biology and Medicine**, v. 233, n. 6, p. 674-688, 2008.

SIRI-TARINO, P. W.; SUN, Q.; HU, F. B.; KRAUSS, R. M. Meta-analysis of prospective cohort studies evaluating the association of saturated fat with cardiovascular disease. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v.91, n.3, p.535-546, 2010.

SKEAFF, C. M., MILLER, J. Dietary fat and coronary heart disease: summary of evidence from prospective cohort and randomised controlled trials. **Annals of Nutrition & Metabolism**, v.55, p.1-3, 2009.

SKIBA, G.; POŁAWSKA, E.; SOBOL, M.; RAJ, S.; WEREMKO, D. Omega-6 and omega-3 fatty acids metabolism pathways in the body of pigs fed diets with different sources of fatty acids. **Archives of Animal Nutrition**, v.69, n.1, p.1-16, 2015.

SOBOL, M.; SKIBA, G.; RAJ, S. Effect of n-3 polyunsaturated fatty acid intake on its deposition in the body of growing-finishing pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v.208, p.107-118, 2015.

SPENCER, J. D.; GAINES, A. M.; BERG, E. P.; ALLEE, G. L. Diet modifications to improve finishing pig growth performance and pork quality attributes during periods of heat stress. **Journal of Animal Science**, v.83, p.243-254, 2005.

STÄRK, K. D. Epidemiological investigation of the influence of environmental risk factors on respiratory diseases in swine—a literature review. **The Veterinary Journal**, v.159, n.1, p.37-56, 200.

SUMMERS, L. K.; FIELDING, B. A.; BRADSHAW, H. A.; ILIC, V.; BEYSEN, C.; CLARK, M. L.; MOORE, N. R.; FRAYN, K. N. Substituting dietary saturated fat with polyunsaturated fat changes abdominal fat distribution and improves insulin sensitivity. **Diabetologia**, v.45, n.3, p.369–377, 2002.

TEJERINA, D.; GARCÍA-TORRES, S.; DE VACA, M. C.; VÁZQUEZ, F. M.; CAVA, R. Effect of production system on physical–chemical, antioxidant and fatty acids composition of Longissimus dorsi and Serratus ventralis muscles from Iberian pig. **Food Chemistry**, v.133, n.2, p.293-299, 2012.

TURNER, T. D.; MAPIYE, C.; AALHUS, J. L.; BEAULIEU, A. D.; PATIENCE, J. F.; ZIJLSTRA, R. T.; DUGAN, M. E. R. Flaxseed fed pork: n– 3 fatty acid enrichment and contribution to dietary recommendations. **Meat Science**, v.96, n.1, p.541-547, 2014.

TUZ, R.; KOCZANOWSKI, J.; KLOCEK, C. Z.; MIGDAŁ, W. Influence of the fatteners' sex on the carcass traits and fatty acid composition in loin. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, v.13, p.191–194, 2004.

ULBRICHT, T. L. V.; SOUTHGATE, D. A. T. Coronary heart disease: seven dietary factors. **The Lancet**, v. 338, n. 8773, p. 985-992, 1991.

UNTEA, A. E.; VARZARU, I.; PANAITI, T. D.; HABEANU, M.; ROPOTA, M.; OLTEANU, M.; CORNESCU, G. M. Effects of chromium supplementation on growth, nutrient digestibility and meat quality of growing pigs. **South African Journal of Animal Science**, v.47, n.3, p.332-341, 2017.

VACLAVKOVA, E.; VOLEK, Z.; BELKOVA, J.; DUSKOVA, D.; CZAUDERNA, M.; MAROUNEK, M. Effect of linseed and the combination of conjugated linoleic acid and linseed on the quality and oxidative stability of pig meat and subcutaneous fat. **Veterinární Medicína**, v.61, n.8, p.428-435, 2017.

VEHOVSKÝ, K.; STUPKA, R.; ZADINOVÁ, K.; ŠPRYSL, M.; OKROUHLÁ, M.; LEBEDOVÁ, N.; MLYNEKOVÁ, E.; ČÍTEK, J. Effect of dietary rapeseed and soybean oil on growth performance, carcass traits, and fatty acid composition of pigs. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.48, 2019.

VINCENT, J. B. Recent advances in the nutritional biochemistry of trivalent chromium. **Proceedings of the Nutrition Society**, v.63, n.1, p.41-47, 2004.

VIRGILI, R.; DEGNI, M.; SCHIVAZAPPA, C.; FAETI, V.; POLETTI, E.; MARCHETTO, G.; PACCHIOLI, M. T.; MORDENTI, A. Effect of age at slaughter on carcass traits and meat quality of Italian heavy pigs. **Journal of Animal Science**, v.81, n.10, p.2448-2456, 2003.

WANG, M. Q.; HE, Y. D.; XU, Z. R.; LI, W. F. Effects of chromium picolinate supplementation on growth hormone secretion and pituitary mRNA expression in finishing pigs. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v.21, n.7, p.1033-1037, 2008.

WANG, M. Q.; WANG, C.; DU, Y. J.; LI, H.; TAO, W. J.; YE, S. S.; HE, Y. D.; CHEN, S. Y. Effects of chromium-loaded chitosan nanoparticles on growth, carcass characteristics, pork quality, and lipid metabolism in finishing pigs. **Livestock Science**, v.161, p.123-129, 2014.

WILLIAMS, C. M.; BURDGE, G. Long-chain n-3 PUFA: Plant v. marine sources. **Proceedings of the Nutrition Society**, v.65, n.1, p.42-50, 2006.

WOOD, J. D.; ENSER, M.; FISHER, A. V.; NUTE, G. R.; SHEARD, P. R.; RICHARDSON, R. I.; WHITTINGTON, F. M. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. **Meat Science**, v.78, n.4, p.343-358, 2008.

WOOD, J. D.; RICHARDSON, R. I.; NUTE, G. R.; FISHER, A. V.; CAMPO, M. M.; KASAPIDOU, E. et al. Effects of fatty acids on meat quality: a review. **Meat Science**, v.66, n.1, p.21-32, 2004.

WOODS, V. B.; FEARON, A. M. Dietary sources of unsaturated fatty acids for animals and their transfer into meat, milk and eggs: A review. **Livestock Science**, v.126, n.1-3, 1-20, 2009.

XI, G.; XU, Z.; WU, S. H.; CHEN, S. Effect of chromium picolinate on growth performance, carcass characteristics, serum metabolites and metabolism of lipid in pigs. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v.14, n.2, p.258-262, 2001.

YU, Q. P.; FENG, D. Y.; XIA, M. H.; HE, X. J.; LIU, Y. H.; TAN, H. Z.; ZOU, S. G.; OU, X. H.; ZHENG, T.; CAO, Y.; WU, X. J.; ZHENG, X. Q.; WU, F.; ZUO, J. J. Effects of a traditional Chinese medicine formula supplementation on growth performance, carcass characteristics, meat quality and fatty acid profiles of finishing pigs. **Livestock Science**, v.202, p.135-142, 2017.

ZHOU, Y.; LIN, Y.; WU, X.; FENG, C.; LONG, C.; XIONG, F.; WANG, N.; PAN, D.; CHEN, H. The high-level accumulation of n-3 polyunsaturated fatty acids in transgenic pigs harboring the n-3 fatty acid desaturase gene from *Caenorhabditis briggsae*. **Transgenic Research**, v.23, n.1, p.89-97, 2014.

Óleo de soja na dieta modula a composição de ácidos graxos da gordura suína

RESUMO - Realizou-se este estudo com o objetivo de avaliar o impacto do nível de óleo de soja no desempenho e perfil lipídico da gordura subcutânea e músculo longissimus lumborum de fêmeas suínas. Foram avaliadas 48 fêmeas suínas, da mesma linhagem genética, submetidas a seis níveis de inclusão de óleo de soja (0,0; 1,086; 2,173; 3,259; 4,345 e 5,432 %). O delineamento experimental foi em blocos casualizado com seis tratamentos, e quatro repetições constituídas por dois animais. Foram analisados o desempenho e os perfis lipídicos da gordura subcutânea e da gordura intramuscular do músculo longissimus lumborum por cromatografia gasosa. O aumento do nível de óleo de soja não influenciou o peso final, ganho de peso diário e consumo diário, mas melhorou a conversão alimentar. A inclusão do óleo de soja modificou o perfil lipídico da gordura subcutânea e da carne, proporcionando redução dos ácidos graxos saturados e monoinsaturados, aumento da concentração dos ácidos graxos poli-insaturados, principalmente do ácido linoleico e ácido α -linolênico. Houve diminuição dos índices aterogênico e trombogênico, e da relação ômega 6: ômega 3 na gordura subcutânea e da carne em função do aumento da inclusão de óleo de soja na dieta dos animais. O nível de inclusão de óleo de soja na dieta dos suínos influencia o perfil lipídico da gordura subcutânea e da carne, com menor efeito neste último.

Palavras-chave: ácidos graxos, índice aterogênico, índice trombogênico, óleo de soja, ômega 3, ômega 6

Dietary soybean oil modulates the fatty acid composition of pork

ABSTRACT - This study was conducted to evaluate the impact of soybean oil level on the fatty acid profile of backfat and longissimus lumborum muscle of gilts. Forty-eight gilts of the same lineage were subjected to one of the following six dietary soybean oil inclusions (0.0; 1.086; 2.173; 3.259; 4.345 e 5.432 %). Experimental design was completely randomized with six treatments, and four replicates of two animals each. It was evaluated the performance and lipid profiles of backfat and longissimus lumborum muscle by gas chromatography. Increasing dietary soybean oil levels did not influence final weight, daily weight gain and daily feed intake, but improved feed to gain ratio. The inclusion of soybean oil modified the lipid profile of backfat and muscle, reduced saturated and monounsaturated fatty acids and increased polyunsaturated fatty acids concentration, mainly linoleic and α -linolenic acids. Increasing dietary soybean oil inclusion decreased atherogenic and thrombogenic indexes, and the omega-6:omega-3 ratio of the backfat and muscle. The level of soybean oil in pigs' diets influenced backfat and longissimus lumborum lipid profile, with a lower effect on muscle.

Key words: atherogenic index, fatty acids, omega 3, omega 6, soybean oil, thrombogenic index

Introdução

A utilização de óleos e gorduras como fonte energética tem sido frequente na formulação de dietas para suínos, pois traz dentre vários outros benefícios, a capacidade de eliminar os efeitos negativos no desempenho dos animais causados pelas altas temperaturas (Spencer et al., 2005; Wolp et al., 2012), por reduzir o incremento calórico e aumentar a energia líquida dessas dietas (Noblet e Milgen, 2004).

Atualmente, tem se voltado grande atenção a tais fontes lipídicas devido à possibilidade de modificarem facilmente a composição dos ácidos graxos da gordura dos suínos, e conseqüentemente, influenciarem na saúde humana considerando-se que a dieta e a saúde humana estão intimamente relacionadas (Kim et al., 2014).

Em dietas convencionais de suínos, a base de milho e farelo de soja e sem a adição de óleos, os ácidos graxos de maior concentração na gordura são o ácido oleico, ácido palmítico, ácido esteárico e ácido linoleico. A maior concentração total é a de ácidos graxos monoinsaturados (AGMI), depois os ácidos graxos saturados (AGS) e por último os ácidos graxos poli-insaturados (AGPI) (Duran-Montgé et al., 2010; Alonso et al., 2012; Mukumbo et al., 2014).

Podem ocorrer alterações no perfil de ácidos graxos da gordura subcutânea e da carne, quando utilizadas diferentes fontes lipídicas, em que a magnitude da alteração nesse perfil dependerá do tipo, período e quantidade de inclusão na dieta (Mas et al., 2010; Alonso et al., 2012; Turner et al., 2014).

O efeito sobre a composição de ácidos graxos da gordura dos animais pode ser benéfico para os consumidores, dependendo das mudanças no perfil lipídico. A redução de alguns AGS reduz concomitantemente os índices aterogênico e trombogênico que indicam que a predisposição da gordura causar aterosclerose ou trombose (Ulbrich e Southgate, 1991). Aumentos dos AGPI em detrimento dos AGS também tornam a gordura mais saudável.

Porém, o tipo de AGPI também é importante, uma vez que a relação entre o consumo de ômega 3 e 6 não deve ultrapassar a relação de 4:1 (Scollan et al., 2006), a fim de prevenir doenças pró-inflamatórias causadas pelo desbalanço nesta relação (Bhardwaj et al., 2016)

Dentre as fontes lipídicas que podem ser utilizadas, os óleos vegetais como o de soja, girassol, canola e linhaça têm grande vantagem em relação às gorduras animais pois são ricos em ácidos graxos poli-insaturados (Park et al., 2012; Turner et al., 2014). O óleo de soja tem alta concentração dos ácidos graxos linoleico, oleico e linolênico (Wang et al., 2019), e possui o menor custo e maior disponibilidade no Brasil (Hauptli et al., 2016).

Dessa forma, é possível avaliar o impacto da utilização desse óleo na alimentação dos suínos por longos períodos no perfil lipídico da gordura. Portanto, realizou-se este trabalho com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes inclusões de óleo de soja na dieta de fêmeas suínas nas fases de crescimento e terminação sobre o desempenho e o perfil de ácidos graxos na gordura subcutânea e no músculo longissimus lumborum.

Material e métodos

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, localizada no município de Terenos, Mato Grosso do Sul, Brasil (latitude 20°26'32"S, longitude 54°51'37"W). A pesquisa com animais foi realizada de acordo com o Comitê Institucional de Uso de Animais (UFMS 552/2013). Foram avaliadas amostras de carcaças provenientes de 48 fêmeas suínas, da mesma linhagem genética, submetidas a seis níveis de inclusão de óleo de soja refinado (0,0; 1,086; 2,173; 3,259; 4,345 e 5,432 %). O delineamento experimental foi em blocos casualizados com seis tratamentos, quatro repetições, sendo cada unidade experimental constituída por dois animais.

As dietas experimentais (Tabela 1) foram elaboradas à base de milho e farelo de soja para atender as exigências nutricionais para fêmeas de alto potencial genético, como

recomendado por Rostagno et al. (2011), com exceção da energia. Os diferentes níveis de óleo de soja foram inclusos em substituição ao material inerte (caulim), mantendo-se o padrão de proteína ideal entre as dietas. Os animais receberam as dietas dos 21,0 aos 100,0kg *ad libitum*, e o período experimental foi de 90 dias.

Tabela 1 – Composição centesimal e nutricional das dietas experimentais nas diferentes fases

Ingredientes (%)	Fases		
	30-50kg	50-70kg	70-100kg
Milho	66,83	69,45	71,16
Farelo de soja (46 %)	24,41	22,12	19,21
Óleo de soja ¹	0,00 – 5,43	0,00 – 5,43	0,00 – 5,43
Caulim (material inerte) ²	5,50 – 0,07	5,50 – 0,07	7,00 – 1,57
Fosfato bicálcico	1,250	1,069	0,908
Calcário calcítico	0,711	0,647	0,578
Sal comum	0,407	0,382	0,358
Suplemento vitamínico/mineral ³	0,400	0,400	0,400
L-lisina HCl	0,302	0,282	0,255
DL-metionina	0,100	0,077	0,060
L-treonina	0,089	0,071	0,069
Composição nutricional			
Proteína bruta (%)	16,69	15,82	14,60
Energia líquida (Kcal/kg)	2.300 – 2.700	2.300 – 2.700	2.300 – 2.700
Lisina digestível (%)	0,974	0,905	0,814
Metionina+cistina digestível (%)	0,575	0,534	0,488
Treonina digestível (%)	0,633	0,588	0,545
Triptofano digestível (%)	0,175	0,163	0,147
Cálcio (%)	0,658	0,584	0,512
Fósforo disponível (%)	0,325	0,288	0,253
Sódio (%)	0,180	0,170	0,160

¹ Seis níveis de inclusão do óleo de soja (0,0; 1,086; 2,173; 3,259; 4,345 e 5,432 %).

² Substituição do óleo de soja pelo caulim.

³ Conteúdo por kg de dieta (30-50kg): ácido pantotênico = 9,20 mg; niacina = 20,00 mg; ácido fólico = 0,50 mg; cobre = 15,00 mg; ferro = 0,10 mg; zinco = 0,13 mg; iodo = 1,00 mg; selênio = 0,30 mg; manganês = 0,50 mg; vitamina A = 5.000 UI; vitamina D3 = 1.000 UI; vitamina E = 25,00 UI; vitamina K3 = 3,00 mg; vitamina B1 = 2,20 mg; vitamina B2 = 5,50 mg; vitamina B6 = 2,00 mg; vitamina B12 = 20,00 mg; BHT = 1,00 g e veículo qsp = 1,00 g. Conteúdo por kg de dieta (50-70kg e 70-100 kg): idem anterior, exceto: niacina = 18,00 mg; vitamina B1 = 1,50 mg; vitamina B2 = 4,00 mg; vitamina B6 = 1,50 mg; vitamina B12 = 18,00 mg.

Os animais foram pesados no início e no final do período experimental para avaliar o ganho de peso diário (GPD). A alimentação foi pesada para se avaliar o consumo médio diário (CMD), e a partir desses dados foi calculado a conversão alimentar (CA). Ao final da fase de terminação os animais foram submetidos a jejum de sólidos de oito horas.

Posteriormente foram transportados para o frigorífico, onde permaneceram em baias de repouso por quatro horas. Após isto, foram abatidos de acordo com os padrões de manejo e procedimentos de abate em vigor estabelecidos pela legislação do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Ao final da linha de abate e antes do resfriamento das carcaças, foram retiradas amostras do músculo longissimus lumborum, com a gordura subcutânea no ponto P2 (região de inserção da última vértebra torácica com a primeira lombar, a seis centímetros da linha dorsal) da meia carcaça esquerda. As amostras foram identificadas, embaladas, acondicionadas em caixa térmica sob resfriamento, e transportadas até o laboratório, onde foram congeladas a -20°C para posterior análise.

A técnica para extração dos lipídios e metilação dos ácidos graxos foi adaptada de Hara e Radin (1978). As amostras foram descongeladas e pesadas 5g do tecido muscular ou 1,5 g de gordura subcutânea em tubo de vidro. Para extração dos ácidos graxos, foi adicionado aos tubos 28 ml da mistura de hexano/isopropanol (3:2), em seguida foi homogeneizado com as amostras e após descanso, a mistura foi filtrada. Para remoção de substâncias não lipídicas, foi adicionado ao filtrado 12 ml de sulfato de sódio aquoso, ocorrendo separação em duas fases. Foi separada a parte superior contendo hexano e lipídios para posterior secagem, obtendo-se ao final a mistura de lipídios extraídos e secos.

Para a reação de metilação desses ácidos graxos, pesou-se aproximadamente 40mg dessa gordura extraída, que foi colocada em tubo de ensaio. Adicionaram-se os solventes necessários para a reação (hexano, metil acetato, metóxido de sódio - 30% em metanol) e solução de ácido oxálico anidro. Após isso, obtiveram-se as amostras de ácidos graxos esterificadas para análise por cromatografia gasosa.

A separação e a detecção dos ácidos graxos foram feitas por meio de cromatografia gasosa, usando cromatógrafo gás-líquido Varian modelo CP-3800 com detector de ionização

de chama (FID), com injetor do tipo “split/splitless”, em coluna capilar de sílica fundida de 30m de comprimento, 0,25mm diâmetro, BPX-70 (70% Cianopropil polisilfenilsiloxano).

Os parâmetros de operação foram fixados em temperatura do detector: 250°C e temperatura do injetor: 200°C. A temperatura inicial da coluna foi de 80°C (2 min), aumentando gradativamente 4°C min⁻¹, até alcançar 220°C (mantendo-se por 10min). Para o gás de arraste, foi utilizado hélio com fluxo na coluna de 1,0mL min⁻¹, ar sintético e hidrogênio como gás para o detector e nitrogênio como gás auxiliar “make-up”. Para injeção, foi utilizado 1µL. A identificação e quantificação dos ácidos graxos foi realizada por meio de tempo de retenção, comparação do tempo de retenção (tr) e coinjeção de ésteres metílicos de ácidos graxos de amostras e padrões (FAME mix, 100 mg – 37 componentes). A quantificação foi expressa em porcentagem do total de ácidos graxos identificados e quantificados.

A avaliação da qualidade dos ácidos graxos da carne e gordura subcutânea foi realizada segundo cálculo sugerido por Ulbricht e Southgate (1991) para o índice aterogênico (IA) e índice trombogênico (IT): $IA = (\text{Ácido Láurico} + (4 \times \text{Ácido Mirístico}) + \text{Ácido Palmítico}) / (\text{Ômega 6}) + (\text{Ômega 3}) + \text{AGMI}$; $IT = (\text{Ácido Mirístico} + \text{Ácido Palmítico} + \text{Ácido Esteárico}) / (0,5 \times \text{Ácido Oleico}) + (0,5 \times \text{AGMI}) + (0,5 \times \text{Ômega 6}) + (3 \times \text{Ômega 3}) + (\text{Ômega 3} / \text{Ômega 6})$.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo procedimento GLM do programa estatístico SAS. Também foram realizadas as análises de regressão linear e quadrática. O nível de significância adotado foi de 5%.

Resultados

Não houve efeito quadrático ($P > 0,05$) para nenhum dos parâmetros avaliados neste estudo. O aumento dos níveis de óleo de soja na dieta não influenciou ($P > 0,05$) o peso final,

ganho de peso diário e consumo de ração diário das fêmeas suínas (Tabela 2). Porém, houve efeito para a conversão alimentar ($P < 0,05$), onde foi observada redução linear conforme se aumentou o nível de óleo de soja da dieta.

Os níveis de óleo de soja influenciaram ($P < 0,05$) o perfil lipídico da gordura subcutânea e da carne (Tabela 3). Na gordura subcutânea houve redução linear ($P < 0,05$) dos ácidos graxos mirístico, palmítico, palmitoleico, esteárico, oleico e γ -linoleico e aumento linear dos ácidos graxos poli-insaturados linoleico, α -linolênico, araquidônico e eicosapentaenoico (EPA).

Na carne, não houve efeito ($P > 0,05$) para a quantidade de gordura extraída, porém houve redução linear ($P < 0,05$) dos ácidos graxos palmítico, palmitoleico, estearico, oleico e γ -linoleico quando se aumentou a inclusão de óleo de soja, enquanto que os ácidos graxos poli-insaturados linoleico, α -linolênico e eicosatrienoico aumentaram linearmente ($P < 0,05$).

Com o aumento do óleo de soja na dieta houve aumento linear ($P < 0,05$) do AGI e do AGPI e da relação AGPI:AGS e, conseqüentemente, redução linear ($P < 0,05$) dos AGS, AGMI, IA, IT e da relação ômega 6:ômega 3 na gordura subcutânea e da carne. As equações de regressão e os coeficientes de determinação obtidos para as variáveis analisadas na gordura subcutânea e da carne estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 2 – Desempenho de fêmeas suínas nas fases de crescimento e terminação alimentadas com diferentes níveis de óleo de soja

	Óleo de Soja, %						Valor P	CV, %
	0,000	1,086	2,173	3,259	4,345	5,432		
PI	21,52	21,88	21,83	21,71	21,76	21,78	0,99	6,78
PF	96,19	97,68	100,74	100,82	97,34	99,16	0,95	8,14
GPD	0,83	0,84	0,88	0,88	0,84	0,86	0,93	9,57
CRD	2,21	2,11	2,24	2,03	2,05	1,94	0,49	11,35
CA ¹	2,67	2,52	2,56	2,32	2,44	2,26	<0,01	3,94

PI – Peso Inicial; PF – Peso Final; GPD – Ganho de Peso Diário; CRD – Consumo de Ração Diário; CA – Conversão alimentar.

¹Efeito linear: $Y = 2,6375 - 0,0655x$ ($R^2 = 0,77$).

Tabela 3 – Perfil de ácidos graxos (% do total) da gordura subcutânea e da gordura da carne de fêmeas suínas alimentadas com diferentes níveis de óleo de soja

Gordura, %	Óleo de soja, %						Valor P*	CV, %
	0,000	1,086	2,173	3,259	4,345	5,432		
Subcutânea								
Mirístico (C14:0)	1,57	1,35	1,34	1,31	1,23	1,16	<0,01	10,86
Palmítico (C16:0)	25,80	23,61	22,46	22,15	20,84	19,96	<0,01	7,28
Palmitoleico (C16:1)	2,22	1,81	1,54	1,52	1,30	1,25	<0,01	15,94
Estearico (C18:0)	12,31	11,11	10,52	10,04	9,501	8,848	<0,01	9,14
Oleico (C18:1n9)	39,14	38,10	35,09	33,96	33,28	32,30	<0,01	4,70
Linoleico (C18:2n6c)	14,50	18,88	23,74	25,60	28,00	30,73	<0,01	14,88
γ-Linoleico (C18:3n6)	0,20	0,18	0,14	0,13	0,11	0,10	<0,01	25,39
α-Linolênico (C18:3n3)	0,63	1,02	1,40	1,66	1,95	2,27	<0,01	19,01
DH-γ-Linolênico (C20:3n6)	0,08	0,09	0,10	0,10	0,11	0,10	0,37	31,25
Araquidônico (C20:4n6)	0,27	0,29	0,32	0,30	0,29	0,28	0,32	15,77
Eicosatrienoico (C20:3n3)	0,08	0,12	0,16	0,17	0,20	0,21	<0,01	14,77
Eicosapentaenoico (C20:5n3)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	<0,01	20,73
Docosahexaenoico (C22:6n3)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,45	34,38
A.G. Saturados	41,42	38,16	36,40	35,55	33,78	31,90	<0,01	6,96
A.G. Insaturados	58,58	61,84	63,60	64,45	66,22	68,10	<0,01	3,94
A.G. Monoinsaturados	42,75	41,18	37,66	36,42	35,48	34,32	<0,01	5,17
A.G. Poli-insaturados	15,82	20,66	25,93	28,03	30,74	33,78	<0,01	14,80
AGPI:AGS	0,39	0,55	0,72	0,80	0,91	1,07	<0,01	20,26
Índice Aterogênico	0,55	0,47	0,44	0,43	0,39	0,36	<0,01	11,66
Índice Trombogênico	1,34	1,17	1,08	1,04	0,95	0,88	<0,01	11,85
Ômega 6:ômega 3	21,52	17,05	15,28	14,47	13,04	12,39	<0,01	11,43
Carne								
Gordura	1,62	1,44	1,53	1,53	1,53	1,61	0,86	25,30
Mirístico (C14:0)	1,58	1,40	1,43	1,49	1,53	1,41	0,15	11,23
Palmítico (C16:0)	26,29	24,83	24,41	24,65	24,40	23,92	<0,01	4,66
Palmitoleico (C16:1)	3,66	3,34	3,20	3,05	2,78	2,76	<0,01	12,52
Estearico (C18:0)	11,35	10,76	10,59	10,34	10,19	10,22	<0,01	5,26
Oleico (C18:1n9)	42,56	41,08	39,52	38,59	37,71	36,30	<0,01	5,02
Linoleico (C18:2n6c)	9,09	13,11	14,45	15,91	17,32	19,54	<0,01	16,81
γ-Linoleico (C18:3n6)	0,19	0,19	0,17	0,12	0,11	0,11	<0,01	30,40
α-Linolênico (C18:3n3)	0,26	0,53	0,58	0,78	0,89	1,13	<0,01	19,00
DH-γ-Linolênico (C20:3n6)	0,24	0,25	0,27	0,22	0,22	0,21	0,44	25,92
Araquidônico (C20:4n6)	1,78	1,84	2,20	1,66	1,71	1,50	0,39	33,40
Eicosatrienoico (C20:3n3)	0,03	0,07	0,08	0,10	0,12	0,14	<0,01	20,20
Eicosapentaenoico (C20:5n3)	0,04	0,04	0,06	0,04	0,05	0,04	0,29	32,36
Docosahexaenoico (C22:6n3)	0,04	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,37	49,79
A.G. Saturados	40,92	38,68	38,46	38,32	38,02	37,46	<0,01	3,71
A.G. Insaturados	59,08	61,32	61,54	61,67	61,98	62,54	<0,01	2,36
A.G. Monoinsaturados	47,35	45,19	43,59	42,73	41,44	39,77	<0,01	5,39
A.G. Poli-insaturados	11,73	16,13	17,95	18,94	20,54	22,77	<0,01	16,87
AGPI:AGS	0,29	0,42	0,47	0,50	0,54	0,61	<0,01	19,79
Índice Aterogênico	0,55	0,49	0,49	0,50	0,49	0,48	<0,01	7,82
Índice Trombogênico	1,32	1,20	1,18	1,18	1,17	1,14	<0,01	6,55
Ômega 6:ômega 3	32,58	23,82	22,00	18,35	17,37	15,66	<0,01	13,24

*Efeito linear (P<0,05).

Tabela 4 – Equações de regressão do perfil de ácidos graxos na gordura subcutânea e da carne de fêmeas suínas alimentadas com diferentes níveis de óleo de soja

Variáveis	Subcutânea		Carne	
	Equação	R ²	Equação	R ²
Mirístico (C14:0)	1.4972 – 0.0063x	0.87	-	-
Palmítico (C16:0)	25.168 – 0.0994x	0.95	25.670 – 0.0339x	0.72
Palmitoleico (C16:1)	2.0662 – 0.0169x	0.90	3.5335 – 0.0169x	0.95
Esteárico (C18:0)	12.003 – 0.0595x	0.97	11.124 – 0.0201x	0.86
Oleico (C18:1n9)	38.867 – 0.1309x	0.94	42.318 – 0.1113x	0.99
Linoleico (C18:2n6c)	15.689 + 0.2903x	0.97	10.166 + 0.1745x	0.96
γ-Linoleico (C18:3n6)	0.1908 – 0.0018x	0.95	0.1998 – 0.0019x	0.90
α-Linolênico (C18:3n3)	0.6859 + 0.0296x	0.99	0.2902 + 0.0150x	0.98
Eicosatrienoico (C20:3n3)	0.0976 + 0.0023x	0.94	0.0379 + 0.0019x	0.97
Eicosapentaenoico (C20:5n3)	0.0082 + 0.0001x	0.96	-	-
A.G. Saturados	40.605 – 0.1620x	0.97	40.031 – 0.0510x	0.76
A.G. Insaturados	59.395 + 0.1620x	0.97	59.969 + 0.0510x	0.76
A.G. Monoinsaturados	42.289 – 0.1591x	0.95	46.916 – 0.1316x	0.98
A.G. Poli-insaturados	17.106 + 0.3212x	0.97	13.053 + 0.1826x	0.94
AGPI:AGS	0.4154 + 0.0120x	0.99	0.3265 + 0.0053x	0.94
Índice Aterogênico	0.5267 – 0.0031x	0.94	0.5290 – 0.0010x	0.57
Índice Trombogênico	1.2927 – 0.0079x	0.96	1.2719 – 0.0027x	0.72
Ômega 6:ômega 3	19.805 – 0.1539x	0.88	29.316 – 0.2830x	0.87

Discussão

Assim como foi observado no presente estudo, em outros trabalhos o aumento do nível de óleo da dieta também não influenciou no peso final e no ganho de peso diário, sendo observado apenas redução linear na conversão alimentar. Porém, nos demais estudos, além dos efeitos relatados também foi observado efeito sobre o consumo diário de ração (Gonçalves et al., 2015; Marçal et al., 2018; Ferreira et al., 2019).

A utilização de óleo na dieta, com conseqüente aumento da densidade energética, é reconhecida por reduzir o consumo de ração diário dos animais, fato que não foi observado para o presente estudo. Isto ocorreria pois os suínos ajustam o seu consumo de acordo com sua exigência energética, cessando a ingestão quando a mesma é suprida (Rezende et al., 2006).

Entretanto, a melhora observada para a conversão alimentar, indica que os animais necessitaram de menor quantidade de ração para ganhar a mesma quantidade de peso,

sugerindo que a inclusão do óleo de soja permitiu maior eficiência na transformação dos nutrientes da alimentação na deposição dos tecidos.

O perfil de ácidos graxos da gordura suína foi influenciado pela modificação da dieta por meio da inclusão de óleo de soja, fato corroborado por outros pesquisadores que avaliaram o efeito de diferentes fontes lipídicas no perfil lipídico da gordura suína (Kim et al., 2014; Skiba et al., 2015; Turner et al., 2014; Sobol et al., 2015; Juarez et al., 2016). O óleo de soja é rico nos ácidos graxos linoleico (52,87%), oleico (22,71%), palmítico (11,09%) e α -linolênico (6,48%) (Wang et al., 2019).

Os ácidos graxos nos tecidos de suínos podem ser derivados da dieta ou da síntese *de novo*, contudo, o ácido linoleico e o ácido α -linolênico não são sintetizados pelo animal, sendo fornecidos apenas pela dieta (Sobol et al., 2015). No presente estudo, esses dois ácidos graxos aumentaram suas concentrações em 112 e 115% para as gorduras subcutânea e da carne, respectivamente, sendo que o principal fornecedor desses ácidos graxos na dieta é o óleo de soja, sendo rico principalmente em ácido linoleico (Wang et al., 2019).

A concentração do ácido α -linolênico teve aumentos de 258 e 345% nas gorduras subcutânea e da carne, respectivamente. Apesar do maior aumento do ácido α -linolênico, a eficiência de captação que relaciona o nível no tecido com a ingestão dietética é maior para o ácido graxo linoleico do que o α -linolênico no tecido adiposo e no músculo (Nguyen et al., 2003). Essa diferença na incorporação dos ácidos graxos tem relação com as concentrações no tecido de suínos alimentados com a dieta sem adição de fonte lipídicas. Enquanto o ácido linoleico possui concentração de 14,50 e 9,09; o ácido α -linolênico é 0,634 e 0,255 nas gorduras subcutânea e da carne, respectivamente.

Além de serem depositados na sua forma absorvida, o ácido linoleico e ácido α -linolênico são precursores de AGPI de cadeia longa ômega 6 e ômega 3, respectivamente, por meio de enzimas de alongação e dessaturação (Sobol et al., 2015), que atuam principalmente no fígado (Calder et al., 2004).

O ácido linoleico forma o ácido γ -linoleico no primeiro passo e, após duas etapas, o ácido araquidônico. Na via ômega 3, o ácido α -linolênico forma o EPA e o ácido docosahexaenoico (DHA). Assim, o conteúdo desses AGPI de cadeia longa é proveniente da dieta e da síntese a partir dos seus substratos na respectiva via (Skiba et al., 2015). Dessa forma, é possível inferir que o aumento do substrato nas dietas resulte no aumento dos AGPI de cadeia longa nos tecidos.

Entretanto, nem todos os AGPI de cadeia longa tiveram o mesmo comportamento, ocorrendo a diminuição do ácido γ -linoleico. Possivelmente, isto ocorreu pois existe competição entre os substratos (ácido linoleico e ácido α -linolênico) pelas enzimas envolvidas no processo de alongação e dessaturação e formação de novos ácidos graxos, afetando a sua produção (Skiba et al., 2015). Além disso, o aumento linear ocorrido no ácido linoleico não foi acompanhado pela formação e deposição do ácido araquidônico em nenhum dos tecidos.

Por sua vez, o aumento do DHA só é alcançado quando há fornecimento dietético específico desse ácido graxo, indicando que a sua formação é metabolicamente regulada e não influenciada pelo fornecimento dietético de precursores. Quando se utiliza outra fonte de lipídio como óleo de peixe, que é rico em ácidos graxos ômega 3, é possível obter aumentos devido à presença deste ácido graxo neste tipo de óleo (Haak et al., 2008).

Outra explicação possível é que a enzima Δ^6 -dessaturase é necessária para a dessaturação inicial do ácido linoleico e ácido α -linolênico, bem como para dessaturação dos ácidos graxos com 24 carbonos, porém a enzima tem preferência pelos AGPI de 18 carbonos,

possivelmente essa preferência é mais exagerada quando o substrato se encontra em abundância, limitando sua atuação na formação do DHA (Portolesi et al., 2007).

Em relação aos AGS e AGMI, a maioria pode ser eficientemente sintetizada *in vivo*, portanto, são menos influenciadas pela inclusão de gordura na dieta (Juarez et al., 2016). Entretanto, no presente trabalho todos os AGS e AGMI foram afetados e diminuíram suas concentrações na gordura subcutânea, com exceção do ácido mirístico na carne. Fato ocorrido também no trabalho de Graham et al. (2014), onde as concentrações dos ácidos palmítico, esteárico e oleico foram maiores na gordura de suínos alimentados com dietas baseadas em milho e farelo de soja em comparação com aqueles alimentados com dietas ricas em lipídios de grãos secos de destilaria.

Os ácidos graxos saturados e monoinsaturados com 16 e 18 carbonos são produtos provenientes principalmente da síntese *de novo* que ocorre no animal (Wood et al., 2008). Deve-se considerar que em dietas isentas ou com baixa inclusão de óleo de soja, os ácidos graxos depositados são provenientes desta síntese a partir de outros substratos, formando esses ácidos graxos saturados e os monoinsaturados com dupla ligação na posição 9 (Duran-Montgé et al., 2010).

Quando ocorre a inclusão de lipídios na dieta se reduz a síntese *de novo* de ácidos graxos (Duran-Montgé et al., 2010), por meio da menor expressão de genes lipogênicos, como a sintetase de ácido graxos e a esteroil-CoA dessaturase (Δ^9 -dessaturase), devido ao alto teor de ácidos graxos ômega 6 (Duran-Montge et al., 2009; Turner et al., 2014) e altos níveis de ácido linoleico na dieta (Kouba et al., 2003; Apple et al., 2009). Outro fator que pode se atribuir a esta redução, seria à diluição causada pelo aumento do AGPI (em especial, ácido linoleico e ácido α -linolênico) nos tecidos (Turner et al., 2014).

Os resultados obtidos nos ácidos graxos individuais refletiram na concentração total dos ácidos graxos. Houve redução do AGS principalmente por conta do ácido palmítico e ácido

esteárico, e redução do AGMI, devido ao mesmo efeito nos ácidos graxos individuais palmitoleico e oleico, conforme se aumentou o nível do óleo de soja na dieta. Essa redução na concentração dos AGS proporciona uma gordura de melhor qualidade e tem efeitos benéficos ao consumidor, pois o consumo de AGS está associado ao aumento no risco de doenças cardíacas coronárias (Bhupathiraju e Tucker, 2011), devido ao seu efeito de aumentar os níveis do “colesterol ruim”, o LDL (Siri-Tarino et al., 2010). Além disso, a sua substituição por AGPI, como ocorrido no presente estudo, pode prevenir a incidência de doenças cardiovasculares (Jakobsen et al., 2009).

A concentração dos AGPI aproximadamente dobrou nos dois tecidos avaliados, devido principalmente ao maior impacto do ácido linoleico que tem a maior concentração nessa categoria e do ácido α -linolênico que apresentou aumento nas gorduras de acordo com a inclusão de óleo de soja. O aumento no AGPI também foi observado em outro estudo que utilizou 1% óleo de soja na dieta de suínos machos castrados por 44 dias (Alonso et al., 2012).

A relação AGPI:AGS aumentou conforme se incluiu óleo de soja na dieta, elevando os valores acima do valor mínimo recomendado na nutrição humana que é de 0,4 (Ulbricht e Southgate, 1991). O primeiro nível de óleo de soja foi o suficiente para que a relação ficasse acima do adequado na gordura subcutânea e na carne, assim como observado por Alonso et al. (2012) que também utilizaram o óleo de soja.

A gordura de suínos é geralmente caracterizada pelo seu alto teor de ácido linoleico, o que leva a relações aceitáveis de AGPI:AGS ou próximas do aceitável como os encontrados no presente estudo, por outro lado, o alto teor de ômega 6 geralmente resulta em relações desfavoráveis de ômega 6:ômega 3 para uma dieta humana saudável (Mas et al., 2010).

O valor recomendado na nutrição humana é de que a relação ômega 6:ômega 3 seja menor do que 4:1 (Scollan et al., 2006), sendo que independente da concentração do óleo de soja os valores encontrados para essa relação ficaram acima do recomendado. A relação

aumentada ômega 6:ômega 3, provavelmente, devido ao n-6 tem sido associado com respostas imunitárias pró-inflamatórias, estando associado com doenças cardiovasculares, diabetes, obesidade, entre outras (Bhardwaj et al., 2016).

Porém, esses valores reduziram conforme se acrescentou o óleo de soja na dieta dos suínos, alcançando a relação de 12:1 e 16:1 na gordura subcutânea e da carne, respectivamente, ainda que tenha ocorrido aumento do ácido linoleico que é ômega 6. Por outro lado, quando se utiliza outras fontes como a linhaça que é rica em ômega 3, ainda que a sua inclusão aumente o teor de ácidos graxos ômega 6 como no presente trabalho, aumenta em taxa maior o teor de ácidos graxos ômega 3, proporcionando uma relação dentro da ideal (Turner et al., 2014).

Outros indicadores de qualidade da gordura são o índice aterogênico e trombogênico, que demonstram o potencial efeito dessa gordura no desenvolvimento de doença coronariana (Jankowska et al., 2010). Houve diminuição destes índices pelo efeito na diminuição dos ácidos graxos saturados (mirístico, palmítico e esteárico) e também no aumento dos ácidos graxos insaturados.

Os índices se encontraram próximos ao valor médio estabelecido na literatura (Ulbricht e Southgate, 1991; Mukumbo et al., 2014), sendo que a utilização do óleo de soja na dieta dos suínos, diminuiu esses índices proporcionando uma gordura de melhor qualidade para o consumidor.

Em relação ao perfil de ácidos graxos da gordura subcutânea e da carne é possível observar que a gordura subcutânea é mais influenciada na quantidade de ácidos graxos e na quantidade depositada, quando se observa as equações obtidas. Estes mesmos resultados foram observados por outros pesquisadores com ácido linoleico conjugado (Vaclavkova et al., 2016) e linhaça (Corino et al., 2014). Este fato ocorre devido a maior quantidade de lipídios

de membrana na gordura intramuscular que contém grandes quantidades de AGPI, e são menos sensíveis à variação dietética (Corino et al., 2014).

Conclusões

O nível de inclusão de óleo de soja na dieta dos suínos influencia o perfil lipídico da gordura subcutânea e do músculo longissimus lumborum. O aumento da inclusão diminui os ácidos graxos saturados, monoinsaturados, índices aterogênico e trombogênico, e a relação ômega 6:ômega 3 e aumenta os ácidos graxos poli-insaturados e relação AGPI:AGS.

Referências

- Alonso, V.; Najes, L. M.; Provincial, L.; Guillén, E.; Gil, M.; Roncalés, P. and Beltrán, J. A. 2012. Influence of dietary fat on pork eating quality. *Meat science* 92:366-373.
- Apple, J. K.; Maxwell, C. V.; Galloway, D. L.; Hutchison, S. and Hamilton, C. R. 2009. Interactive effects of dietary fat source and slaughter weight in growing–finishing swine: I. Growth performance and longissimus muscle fatty acid composition. *Journal of Animal Science* 87:1407–1422.
- Bhardwaj, K.; Verma, N.; Trivedi, R. K.; Bhardwaj, S. and Shukla, N. 2016. Significance of ratio of omega-3 and omega-6 in human health with special reference to flaxseed oil. *International Journal of Biological Chemistry* 10:1-6.
- Bhupathiraju, S. N. and Tucker, K. L. 2011. Coronary heart disease prevention: Nutrients, foods, and dietary patterns. *Clinica Chimica Acta* 412:1493-1514.
- Calder, P. C. 2004. n–3 Fatty acids and cardiovascular disease: evidence explained and mechanisms explored. *Clinical Science* 107:1-11.
- Corino, C.; Rossi, R.; Cannata, S. and Ratti, S. 2014. Effect of dietary linseed on the nutritional value and quality of pork and pork products: Systematic review and meta-analysis. *Meat science* 98:679-688.
- Duran-Montge, P.; Theil, P. K.; Lauridsen, C. and Esteve-Garcia, E. 2009. Fat metabolism is regulated by altered gene expression of lipogenic enzymes and regulatory factors in liver and adipose tissue but not in semimembranosus muscle of pigs during the fattening period. *Animal* 3:1580–1590.
- Duran-Montgé, P.; Realini, C. E.; Barroeta, A. C.; Lizardo, R. G. and Esteve-Garcia, E. 2010. De novo fatty acid synthesis and balance of fatty acids of pigs fed different fat sources. *Livestock Science* 132:157-164.

- Ferreira, S. V.; Barbosa, L. M. R.; Marcolla, C. S.; Soares, M. H.; Júnior, D. T. V.; Rodrigues, G. A. and Saraiva, A. 2019. Metabolizable energy levels in diets with high lysine for growing and finishing pigs. *Semina: Ciências Agrárias* 40:365-378.
- Gonçalves, L. M. P., Kiefer, C., Souza, K. M. R., Marçal, D. A., Abreu, R. C., Silva, A. M. P. S. and Alencar, S. A. S. 2015. Níveis de energia líquida para suínos machos castrados em terminação. *Ciência Rural* 45:464-469.
- Graham, A. B.; Goodband, R. D.; Tokach, M. D.; Dritz, S. S.; Derouchey, J. M. and Nitikanchana, S. 2014. The interactive effects of high-fat, high-fiber diets and ractopamine HCl on finishing pig growth performance, carcass characteristics, and carcass fat quality. *Journal of animal science* 92:4585-4597.
- Haak, L.; De Smet, S.; Fremaut, D.; Van Walleggem, K. and Raes, K. 2008. Fatty acid profile and oxidative stability of pork as influenced by duration and time of dietary linseed or fish oil supplementation. *Journal of Animal Science* 86:1418-1425.
- Hara, A. and Radin, N. S. 1978. Lipid extraction of tissues with low-toxicity solvent. *Analytical Biochemistry* 90:420-426.
- Hauptli, L.; Berto, D. A.; Tierzo, V. L.; Augusto, R. M. N.; Saleh, M. A. D. and Neto, M. T. 2016. Maltodextrina e óleos em dietas de leitões desmamados. *Boletim de Indústria Animal* 73:339-346.
- Jankowska, B.; Zakés, Z.; Zmijewski, T. and Szczepkowski, M. 2010. Fatty acid profile of muscles, liver and mesenteric fat in wild and reared perch (*Perca fluviatilis* L.). *Food Chemistry* 118:746-768.
- Jakobsen, M. U.; O'reilly, E.J.; Heitmann, B. L.; Pereira, M. A.; Balter, K.; Fraser, G. E.; Goldbourt, U.; Hallmans, G.; Knekt, P.; Liu, S.; Pietinen, P.; Spiegelman, D.; Stevens, J.; Virtamo, J.; Willett, W. C. and Ascherio, A. 2009. Major types of dietary fat and risk of coronary heart disease: a pooled analysis of 11 cohort studies. *The American Journal of Clinical Nutrition* 89:1425-1432.
- Juarez, M.; Dugan, M. E. R.; Lopez-Campos, O.; Prieto, N.; Uttaro, B.; Gariépy, C. and Aalhus, J. L. 2016. Relative contribution of breed, slaughter weight, sex and diet to the fatty acid composition of differentiated pork. *Canadian Journal of Animal Science* 97:395-405.
- Kim, J. S.; Ingale, S. L.; Lee, S. H.; Choi, Y. H.; Kim, E. H.; Lee, D. C.; Kim, Y. H. and Chae, B. J. 2014. Impact of dietary fat sources and feeding level on adipose tissue fatty acids composition and lipid metabolism related gene expression in finisher pigs. *Animal Feed Science and Technology* 196:60-67.
- Kouba, M.; Enser, M.; Whittington, F.; Nute, G. and Wood, J. 2003. Effect of a high linolenic acid diet on lipogenic enzyme activities, fatty acid composition, and meat quality in the growing pig. *Journal of Animal Science* 81:1967-1979.
- Marçal, D. A.; Kiefer, C.; Nascimento, K. M. R. S.; Bonin, M. D. N.; Corassa, A.; Alencar, S. A. D. S.; Abreu, R. C. and Silva, J. L. D. 2018. Dietary net energy for gilts from 25 to 100 kg body weight. *Revista Brasileira de Zootecnia* 47:e20170341.

- Mas, G.; Llavall, M.; Coll, D.; Roca, R.; Diaz, I.; Gispert, M.; Oliver, M. A. and Realini, C. E. 2010. Carcass and meat quality characteristics and fatty acid composition of tissues from Pietrain-crossed barrows and gilts fed an elevated monounsaturated fat diet. *Meat science* 85:707-714.
- Mukumbo, F. E.; Maphosa, V.; Hugo, A.; Nkukwana, T. T.; Mabusela, T. P. and Muchenje, V. 2014. Effect of *Moringa oleifera* leaf meal on finisher pig growth performance, meat quality, shelf life and fatty acid composition of pork. *South African Journal of Animal Science* 44:388–400.
- Nguyen, L. Q.; Nuijens, M. C. G. A.; Everts, H.; Salden, N. and Beynen, A. C. 2003. Mathematical relationships between the intake of n-6 and n-3 polyunsaturated fatty acids and their contents in adipose tissue of growing pigs. *Meat Science* 65:1399–1406.
- Noblet, J. and Milgen, J. V. 2004. Energy value of pig feeds: Effect of pig body weight and energy evaluation system. *Journal of Animal Science* 82:229-238.
- Park, J. C.; Kim, S. C.; Lee, S. D.; Jang, H. C.; Kim, N. K.; Lee, S. H.; Jung, H. J.; Kim, I. C.; Seong, H. H. and Choi, B. H. 2012. Effects of dietary fat types on growth performance, pork quality, and gene expression in growing-finishing pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 25:1759-1767.
- Portolesi, R.; Powell, B. C. and Gibson, R. A. 2007. Competition between 24:5n-3 and ALA for $\Delta 6$ desaturase may limit the accumulation of DHA in HepG2 cell membranes. *Journal of Lipid Research* 48:1592–1598.
- Rezende, W. O.; Donzele, J. L.; Oliveira, R. F. M.; Abreu, M. L.; Ferreira, A. S.; Silva, F. C. O. and Apolônio, L. R. 2006. Níveis de energia metabolizável mantendo a relação lisina digestível:caloria em rações para suínos machos castrados em terminação. *Revista Brasileira de Zootecnia* 35:1101- 1106.
- Rostagno, H. S.; Albino, L. F. T.; Donzele, J. L.; Gomes, P. G.; Oliveira, R. F.; Lopes, D. C.; Ferreira, A. S.; Barreto, S. L. T. and Euclides, R. F. 2011. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. 3rd ed. Viçosa: Editora UFV. 252p.
- Scollan, N. D.; Hocquette, J-F.; Nuernberg, K.; Dannenberger, D.; Richardson, R. I. and Maloney, A. 2006. Innovations in beef production systems that enhance the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality. *Meat Science* 74:17–33.
- Siri-Tarino, P. W.; Sun, Q.; Hu, F. B. and Krauss, R. M. 2010. Meta-analysis of prospective cohort studies evaluating the association of saturated fat with cardiovascular disease. *The American Journal of Clinical Nutrition* 91:535-546.
- Skiba, G.; Poławska, E.; Sobol, M.; Raj, S. and Weremko, D. 2015. Omega-6 and omega-3 fatty acids metabolism pathways in the body of pigs fed diets with different sources of fatty acids. *Archives of animal nutrition* 69:1-16.
- Sobol, M.; Skiba, G. and Raj, S. 2015. Effect of n- 3 polyunsaturated fatty acid intake on its deposition in the body of growing-finishing pigs. *Animal Feed Science and Technology* 208:107-118.

- Spencer, J. D.; Gaines, A. M.; Berg, E. P.; Allee, G. L. (2005). Diet modifications to improve finishing pig growth performance and pork quality attributes during periods of heat stress. *Journal of Animal Science* 83:243-254.
- Turner, T. D.; Mapiye, C.; Aalhus, J. L.; Beaulieu, A. D.; Patience, J. F.; Zijlstra, R. T. and Dugan, M. E. R. 2014. Flaxseed fed pork: n-3 fatty acid enrichment and contribution to dietary recommendations. *Meat science* 96:541-547.
- Ulbricht, T. L. V. and Southgate, D. A. T. 1991. Coronary heart disease: Seven dietary factors. *Lancet* 338:985-992.
- Vaclavkova, E.; Volek, Z.; Belkova, J.; Duskova, D.; Czauderna, M. and Marounek, M. 2016. Effect of linseed and the combination of conjugated linoleic acid and linseed on the quality and oxidative stability of pig meat and subcutaneous fat. *Veterinari Medicina* 61:428-435.
- Wang, Q., Huang, C., Liu, M., Liu, L., Zhang, S. 2019. Effects of inclusion level and amino acid supplementation on energy values of soybean oil determined with difference or regression methods in growing pigs. *Asian-Australasian journal of animal sciences*.
- Wood, J. D.; Enser, M.; Fisher, A. V.; Nute, G. R.; Sheard, P. R.; Richardson, R. I.; Hughes, S. I. and Whittington, F. M. 2008. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat science* 78:343-358.
- Wolp, R. C.; Rodrigues, N. E. B.; Zangeronimo, M. G.; Cantarelli, V. S.; Fialho, E. T.; Philomeno, R.; Alvarenga, R. R. and Rocha, L. F. 2012. Soybean oil and crude protein levels for growing pigs kept under heat stress conditions. *Livestock Science* 147:148-153.

Período de suplementação do cromo levedura no perfil lipídico da gordura suína

Resumo: Realizou-se este estudo com o objetivo de avaliar o período de suplementação do cromo levedura no perfil lipídico da gordura subcutânea e músculo longissimus lumborum de suínos machos castrados. Foram avaliadas amostras de carcaças provenientes de 40 suínos machos castrados, da mesma linhagem genética, suplementados com $0,4 \text{ mg kg}^{-1}$ de cromo levedura por quatro períodos de fornecimento (0, 38, 62 e 94 dias antes do abate). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com quatro tratamentos, dez repetições, sendo cada unidade experimental constituída por um animal. Foram analisados os perfis lipídicos da gordura subcutânea e da gordura da carne do músculo longissimus lumborum por meio da cromatografia gasosa. O aumento do período de suplementação do cromo levedura teve efeito quadrático ($P < 0,05$) para os ácidos graxos esteárico e oleico, e o total de ácidos graxos saturados, monoinsaturados e insaturados na gordura subcutânea. Os ácidos graxos DH- γ -linolênico e araquidônico reduziram conforme se aumentou o período de suplementação do cromo levedura. Na carne, houve efeito quadrático ($P < 0,05$) apenas para o ácido graxo γ -Linoleico. A suplementação de cromo levedura por diferentes períodos influencia o perfil lipídico na gordura subcutânea e na carne do músculo longissimus lumborum, com menor efeito neste último.

Palavras-chave: ácidos graxos, índice aterogênico, índice trombogênico

Period of chromium yeast use on lipid profile of swine fat

Abstract: This study was conducted to evaluate the period of chromium yeast supplementation on lipid profile of backfat and longissimus lumborum muscle of barrows. Samples from the carcass of forty barrows of the same lineage and previously supplemented with 0.4 mg kg^{-1} of chromium yeast in one of four periods (0, 38, 62 and 94 days before slaughter). The experimental design was completely randomized with four treatments, ten replicates, and each experimental unit consisting of one animal. Lipid profiles of backfat and longissimus lumborum muscle were analyzed by gas chromatography. The increase in the period of chromium yeast use had a quadratic effect ($P < 0.05$) for stearic and oleic fatty acids, and total saturated, monounsaturated and unsaturated fatty acids in backfat. DH- γ -linolenic and arachidonic fatty acids reduced when the period of chromium yeast use increased. In the meat, there was a quadratic effect ($P < 0.05$) only in the γ -linoleic fatty acid. The use of chromium yeast for different periods influences the lipid profile of the backfat and the longissimus lumborum muscle, with less effect on meat.

Key words: atherogenic index, fatty acids, thrombogenic index

INTRODUÇÃO

O cromo é um mineral traço essencial que tem papel fundamental no metabolismo da glicose, proteína e gordura no tecido animal. Devido a isso, a suplementação dietética de cromo surgiu para alterar o metabolismo dos suínos e produzir carcaças com maior quantidade de carne e baixo teor de gordura (Ohh e Lee, 2005).

Existe uma variedade de formas de cromo disponível em todo o mundo, e como acontece com todos os minerais, essas formas possuem diferentes biodisponibilidades, conseqüentemente, diferindo nas respostas sobre o desempenho (Lindemann et al., 2008). As fontes orgânicas de cromo, como o picolinato de cromo, nicotinato de cromo, cromometionina e cromo levedura, são consideradas dez vezes mais biodisponíveis do que as fontes inorgânicas (Shelton et al., 2003), e são as mais utilizadas por apresentarem melhores resultados (Park et al., 2009).

Dentre as respostas encontradas para a suplementação de fontes orgânicas de cromo, pesquisadores registraram melhora na conversão alimentar, aumento do ganho de peso, diminuição da gordura, e aumento da porcentagem de músculo (Jackson et al., 2009; Li et al., 2013; Peres et al., 2014; Xu et al., 2017) e maior digestibilidade da dieta (Park et al., 2009).

Além das alterações de desempenho e carcaça, a observação de possíveis modificações no perfil lipídico na gordura suína, tem despertado interesse considerando que consumidores têm se atentado cada vez mais às questões nutricionais dos alimentos devido ao seu efeito na saúde humana. Logo, estudos que permitam avaliar cada ácido graxo, as suas somas e índices que podem indicar a qualidade de gordura (Ulbricht e Southgate, 1991; Scollan et al., 2006) se fazem necessários.

Considerando que o efeito do cromo sobre a redução de gordura da carcaça dos animais tem relação, dentre outros fatores, com a atuação de enzimas que sintetizam os ácidos graxos

(Wang et al., 2014; Sadeghi et al., 2015), pode-se esperar que o seu fornecimento afete o perfil lipídico da gordura desses animais.

Contudo resultados contraditórios têm sido observados em função de diferentes fontes de suplementação, sexo, manejo, alimentação, categoria, entre outros (Lindeman, 2008; Caramori Júnior et al., 2017). Dentre esses fatores chama a atenção a indicação que o período de suplementação pode influenciar na resposta dos animais (Boleman et al., 1995; Sales e Jancik, 2011; Gebhardt et al., 2016; Caramori Júnior et al., 2017), caracterizando a hipótese de que também tenha efeito sobre a deposição de ácidos graxos em suínos.

Portanto, realizou-se este trabalho com o objetivo de avaliar o efeito do período de suplementação do cromo levedura no perfil lipídico, índice aterogênico e trombogênico, e a relação ômega 6: ômega 3 na gordura subcutânea e na carne do músculo longissimus lumborum de suínos machos castrados.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, localizada no município de Terenos, Mato Grosso do Sul. Foram avaliadas amostras de carcaças de 40 suínos machos castrados, da mesma linhagem genética, submetidos a quatro períodos de suplementação (0, 38, 62 ou 94 dias antes do abate) de 0,4 mg kg⁻¹ de cromo levedura. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com quatro tratamentos, dez repetições, e um animal por unidade experimental.

As dietas experimentais (Tabela 1) foram elaboradas à base de milho e farelo de soja para atender às exigências nutricionais para suínos machos castrados, de alto potencial genético com desempenho médio, seguindo-se a subdivisão das fases propostas por Rostagno et al. (2011), dos 30 aos 50 kg, dos 50 aos 70 kg e dos 70 aos 100 kg. O cromo levedura foi incluso em substituição ao material inerte (caulim). Os suplementos vitamínicos e minerais

usados nas dietas foram desprovidos de cromo. Os animais receberam as dietas dos 25 aos 105 kg, e o período experimental foi de 94 dias.

Tabela 1 - Composição das dietas experimentais dos 26 aos 105 kg

Ingredientes	Fases experimentais ¹		
	26-50 kg	50-75 kg	75-105 kg
Milho	73,09	75,70	78,08
Farelo de soja, 45%	23,41	21,43	19,30
Óleo de soja	0,367	0,090	0,000
Fosfato bicálcico	1,181	0,953	0,869
Calcário calcítico	0,709	0,648	0,608
Suplemento Vit.+Min. Recria ²	0,400	0,400	0,000
Suplemento Vit.+Min. Term. ³	0,000	0,000	0,400
Sal comum	0,405	0,379	0,354
L-lisina HCl	0,279	0,272	0,256
DL-metionina	0,074	0,059	0,048
L-treonina	0,063	0,053	0,056
Cromo levedura ou caulim (inerte)	0,025	0,025	0,025
Composição nutricional			
Proteína bruta (%)	16,68	15,97	15,16
Energia metabolizável (kcal/kg)	3.230	3.230	3.230
Lisina digestível (%)	0,943	0,891	0,829
Metionina+Cistina digestível (%)	0,556	0,526	0,497
Treonina digestível (%)	0,613	0,579	0,555
Triptofano digestível (%)	0,170	0,160	0,149
Cálcio (%)	0,635	0,552	0,512
Fósforo disponível (%)	0,314	0,269	0,250
Sódio (%)	0,180	0,170	0,160

¹Duração de 32 (25-50kg), 24 (50-75kg), 38 dias (75-105kg).

²Conteúdo por kg de dieta: Colina - 0,15 g; Vitamina A - 6.500 UI; Vitamina D₃ - 1.600 UI; Vitamina E - 30 UI; Vitamina K₃ - 3 mg; Vitamina B₁ - 2,2 mg; Vitamina B₂ - 5,5 mg; Vitamina B₆ - 2 mg; Vitamina B₁₂ - 20 mg; Niacina - 20 mg; Ácido Pantotênico - 9,2 mg; Ácido Fólico - 0,5 mg; Biotina - 0,03 mg; Ferro - 0,1 g; Cobre - 15 mg; Manganês - 0,05 g; Zinco - 0,125 g; Iodo - 1 mg; e Selênio - 0,3 mg.

³Conteúdo por kg de dieta: Colina - 0,4 g; Vitamina A - 24.000 UI; Vitamina D₃ - 4.000 UI; Vitamina E - 48 UI; Vitamina K₃ - 6 mg; Vitamina B₁ - 2 mg; Vitamina B₂ 10,4 mg; Vitamina B₆ - 2,8 mg; Vitamina B₁₂ - 0,06 mg; Niacina - 88 mg; Ácido Pantotênico - 40 mg; Ácido Fólico - 0,8 mg; Biotina - 0,2 mg; Ferro - 0,4 mg; Cobre - 40 mg; Manganês - 0,12 g; Zinco - 0,4 g; Iodo - 4 mg; Selênio - 1,2 mg; Cobalto - 0,8 mg e excipiente q.s.p., 1000g.

Ao final da fase de terminação os animais foram submetidos a jejum de alimentos sólidos de oito horas. Posteriormente foram transportados para o frigorífico, onde permaneceram em baias de repouso por quatro horas. Em seguida foram abatidos de acordo com os padrões de manejo e procedimentos de abate em vigor estabelecidos pela legislação do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) Ao final da linha de abate e

antes do resfriamento das carcaças, foram retiradas amostras de carne do músculo longissimus lumborum, com a gordura subcutânea no ponto P2 (região de inserção da última vértebra torácica com a primeira lombar, a seis centímetros da linha dorsal) da meia carcaça esquerda. As amostras foram identificadas, embaladas, acondicionadas em caixa térmica sob resfriamento, e transportadas até o laboratório, onde foram congeladas para posterior análise.

A técnica para extração dos lipídeos e metilação dos ácidos graxos foi adaptada de Hara e Radin (1978). As amostras foram descongeladas, separada a gordura subcutânea da carne e pesadas 5g do tecido muscular ou 1,5g de gordura subcutânea em tubo de vidro. Para extração dos ácidos graxos, foi adicionado aos tubos 28 ml da mistura de hexano:isopropanol (3:2), em seguida foi homogeneizado com as amostras e após descanso, a mistura foi filtrada. Para remoção de substâncias não lipídicas, foi adicionado ao filtrado 12 ml de sulfato de sódio aquoso, ocorrendo separação em duas fases. Foi separada a parte superior contendo hexano e lipídios para posterior secagem, obtendo-se ao final a mistura de lipídios extraídos e secos.

Para a reação de metilação desses ácidos graxos, pesou-se aproximadamente 40mg dessa gordura extraída, que foi colocada em tubo de ensaio. Adicionaram-se os solventes necessários para a reação (hexano, metil acetato, metóxido de sódio - 30% em metanol) e solução de ácido oxálico anidro. Após isso, obtiveram-se as amostras de ácidos graxos esterificadas para análise por cromatografia gasosa.

A separação e a detecção dos ácidos graxos foram feitas por meio de cromatografia gasosa, usando cromatógrafo gás-líquido Varian modelo CP-3800 com detector de ionização de chama (FID), com injetor do tipo “split/splitless”, em coluna capilar de sílica fundida de 30m de comprimento, 0,25mm diâmetro, BPX-70 (70% Cianopropil polisilfenilsiloxano).

Os parâmetros de operação foram fixados em temperatura do detector: 250°C e temperatura do injetor: 200°C. A temperatura inicial da coluna foi de 80°C (2 min), aumentando gradativamente 4°C min⁻¹ até alcançar 220°C (mantendo-se por 10min). Para o

gás de arraste, foi utilizado hélio com fluxo na coluna de 1,0 mL min⁻¹, ar sintético e hidrogênio como gás para o detector e nitrogênio como gás auxiliar “make-up”. Para injeção, foi utilizado 1 µL. A identificação e quantificação dos ácidos graxos foi realizada por meio de tempo de retenção, comparação do tempo de retenção (tr) e coinjeção de ésteres metílicos de ácidos graxos de amostras e padrões (FAME mix, 100 mg – 37 componentes). A quantificação foi expressa em porcentagem do total de ácidos graxos identificados e quantificados.

A avaliação da qualidade dos ácidos graxos da carne e gordura subcutânea foi realizada segundo cálculo sugerido por Ulbricht e Southgate (1991) para o índice aterogênico (IA) e índice trombogênico (IT): IA = (Ácido Láurico + (4 x Ácido Mirístico) + Ácido Palmítico) / (Ômega 6) + (Ômega 3) + AGMI; IT = (Ácido Mirístico + Ácido Palmítico + Ácido Esteárico) / (0,5 x Ácido Oleico) + (0,5 x AGMI) + (0,5 x Ômega 6) + (3 x Ômega 3) + (Ômega 3/Ômega 6).

As enzimas dessaturase e elongase foram calculadas de acordo com Calvo et al. (2017): Δ^5 -dessaturase = ((Ácido Araquidônico / (DH- γ -Linolênico + Ácido Araquidônico)); Δ^9 -dessaturase = (Ácido Palmitoleico + Ácido Oleico) / (Ácido Palmítico + Ácido Palmitoleico + Ácido Esteárico + Ácido Oleico); Elongase = (Ácido Esteárico + Ácido Gondoico[C20:1n9]) / (Ácido Palmítico + Ácido Esteárico + Ácido Oleico + Ácido Gondoico).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo procedimento GLM do programa estatístico SAS. Também foram realizadas as análises de regressão linear e quadrática. O nível de significância adotado foi de 5%.

RESULTADOS

O período de suplementação do cromo levedura influenciou (P<0,05) o perfil lipídico da gordura subcutânea e da carne. (Tabela 2). Na gordura subcutânea houve efeito quadrático

($P < 0,05$) para o ácido esteárico, com ponto de máxima aos 53 dias, e ácido oleico, com ponto de mínima aos 51 dias, e redução linear ($P < 0,05$) para os ácidos DH- γ -linolênico e araquidônico quando se aumentou o período de suplementação do cromo levedura. Na carne houve efeito quadrático ($P < 0,05$) do ácido graxo γ -Linoleico em função do período de fornecimento do cromo levedura, com ponto de mínima aos 53 dias. A gordura extraída do longissimus lumborum, os índices aterogênico e trombogênico e a relação ômega 6:ômega 3 para ambos os tecidos não foram diferentes significativamente ($P > 0,05$) para os diferentes períodos de utilização do cromo levedura.

Na gordura subcutânea o aumento do período de suplementação do cromo levedura, resultou em efeito quadrático ($P < 0,05$) para os ácidos graxos saturados (AGS), insaturados (AGI) e monoinsaturados (AGMI), com maior efeito aos 48, 48 e 58 dias, respectivamente, e sem alterar ($P > 0,05$) os valores dos ácidos graxos poli-insaturados (AGPI). Na carne nenhuma dessas variáveis foram afetadas pelo período de fornecimento do cromo ($P > 0,05$).

As enzimas Δ^9 -dessaturase e elongase na gordura subcutânea foram afetadas de forma quadrática ($P < 0,05$) conforme se aumentou o período de suplementação de cromo, com maior efeito com 50 dias para ambos, enquanto na carne não houve efeito significativo ($P > 0,05$) para nenhuma das enzimas avaliadas (Tabela 3).

DISCUSSÃO

Existem poucos trabalhos na literatura que avaliaram o efeito do cromo no perfil de ácidos graxos da gordura suína, e dentre eles, nenhum que tenha avaliado o efeito do período de suplementação com qualquer fonte de cromo. Entretanto, assim como no presente experimento, em alguns trabalhos foi possível observar mudanças em pelo menos um ácido graxo, em algum dos tecidos avaliados (Grela et al., 1997; Lien et al., 2001; Jackson et al.,

2009; Bučko et al., 2013; Bučko et al., 2015; Untea et al., 2017), corroborando o fato de que a utilização do cromo possui efeito sobre os ácidos graxos.

A suplementação de cromo em diferentes períodos permitiu a visualização de uma resposta quadrática nas variáveis analisadas na gordura subcutânea (ácido esteárico, ácido oleico, ácidos graxos saturados, insaturados e monoinsaturados) e na gordura da carne (γ -linoleico). Esse efeito indica que há um resultado máximo do cromo em um determinado período, e partir disso quando se prolonga o seu efeito é reduzido. Em uma meta-análise (Sales e Jancik, 2011) foi observado que quanto mais tardio é o início do período de suplementação de cromo, maior será a resposta da redução de gordura e aumento da deposição de carne na carcaça, porém não indicaram qual foi o período mais favorável de utilização.

Isso pôde ser observado por Boleman et al. (1995), que suplementaram suínos com $0,2 \text{ mg kg}^{-1}$ de picolinato de cromo, e obtiveram diferentes respostas para a utilização nas fases de crescimento e terminação (96 dias) ou somente terminação (50 dias), com maior porcentagem de músculo para este último. Outra hipótese seria de que o efeito não estaria relacionado a sua utilização em um período mais tardio, mas em um período menor, pois Gebhardt et al. (2016) observaram aumento no ganho médio diário e aumento no consumo até o 39º dia de utilização, e quando consideraram o período inteiro (117 dias), encontraram diferenças apenas no consumo diário.

Tabela 2 – Perfil de ácidos graxos (% do total) da gordura subcutânea e da carne de suínos alimentados por diferentes períodos com cromo levedura antes do abate

Gordura	Período de suplementação (dias)				Valor P	CV (%)
	0	38	62	94		
Subcutânea						
Mirístico (C14:0)	1.50	1.47	1.56	1.55	0.51	9.38
Palmítico (C16:0)	27.20	26.33	27.09	27.79	0.08	4.27
Palmitoleico (C16:1)	2.14	2.30	2.44	2.31	0.26	14.10
Esteárico (C18:0)**	13.47	12.39	12.01	13.12	0.04	9.32
Oleico (C18:1n9)**	40.09	41.96	41.16	41.00	0.02	2.97
Linoleico (C18:2n6c)	11.60	11.69	11.79	10.33	0.18	13.77
γ -Linoleico (C18:3n6)	0.17	0.16	0.16	0.16	0.94	28.67
α -Linolênico (C18:3n3)	0.41	0.40	0.42	0.35	0.12	15.60
DH- γ -Linolênico (C20:3n6)*	0.07	0.07	0.07	0.05	0.02	19.23
Araquidônico (C20:4n6)*	0.17	0.16	0.17	0.13	0.02	21.58
Eicosatrienoico (C20:3n3)	0.06	0.06	0.06	0.06	0.19	12.29
Eicosapentaenoico (C20:5n3)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.94	48.86
Docosahexaenoico (C22:6n3)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.12	26.55
A.G. Saturados**	43.87	41.83	42.33	44.17	0.04	4.60
A.G. Insaturados**	56.13	58.17	57.67	55.83	0.04	3.48
A.G. Monoinsaturados**	43.57	45.58	44.96	44.70	0.02	2.98
A.G. Poli-insaturados	12.56	12.59	12.71	11.13	0.16	13.58
AGPI:AGS	0.29	0.30	0.30	0.25	0.15	17.67
Índice Aterogênico	0.59	0.56	0.58	0.61	0.08	7.56
Índice Trombogênico	1.44	1.33	1.35	1.47	0.05	8.55
Ômega 6:Ômega 3	24.56	25.84	25.07	25.51	0.12	4.67
Carne						
Mirístico (C14:0)	1.52	1.66	1.54	1.61	0.37	10.57
Palmítico (C16:0)	27.49	27.89	27.62	26.95	0.38	3.35
Palmitoleico (C16:1)	3.89	4.34	4.35	4.20	0.31	12.62
Esteárico (C18:0)	12.42	11.72	11.30	11.36	0.06	6.70
Oleico (C18:1n9)	44.78	45.23	45.92	46.05	0.63	4.32
Linoleico (C18:2n6c)	5.69	5.19	5.49	5.51	0.93	28.23
γ -Linoleico (C18:3n6)**	0.14	0.11	0.12	0.14	0.03	18.95
α -Linolênico (C18:3n3)	0.15	0.15	0.16	0.16	0.91	20.29
DH- γ -Linolênico (C20:3n6)	0.15	0.12	0.12	0.13	0.78	46.26
Araquidônico (C20:4n6)	1.06	0.78	0.76	0.91	0.66	56.59
Eicosatrienoico (C20:3n3)	0.02	0.05	0.04	0.05	0.08	51.73
Eicosapentaenoico (C20:5n3)	0.01	0.01	0.01	0.02	0.49	57.61
Docosahexaenoico (C22:6n3)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.97	58.81
A.G. Saturados	42.68	42.67	41.61	41.30	0.13	2.92
A.G. Insaturados	57.32	57.33	58.39	58.70	0.13	2.13
A.G. Monoinsaturados	49.90	50.78	51.55	51.60	0.49	4.36
A.G. Poli-insaturados	7.41	6.55	6.84	7.09	0.87	30.20
AGPI:AGS	0.17	0.15	0.16	0.17	0.87	30.66
Índice Aterogênico	0.59	0.61	0.58	0.57	0.43	5.90
Índice Trombogênico	1.42	1.41	1.36	1.33	0.15	5.44
Ômega 6:Ômega 3	34.00	28.10	30.04	27.50	0.32	23.46

*Efeito linear ($P < 0,05$). Gordura subcutânea: C20:3n6 = 0,0732 - 0,0002x; C20:4n6 = 0,1774 - 0,0004x.

**Efeito quadrático ($P < 0,05$). Gordura subcutânea: C18:0 = 13,506 - 0,0531x + 0,0005x²; C18:1n9c = 40,196 - 0,0516x + 0,0005x²; AGS = 43,843 - 0,0856 + 0,0009x²; AGI = 56,157 + 0,0856x - 0,0009x²; AGMI = 43,661 + 0,0585x - 0,0005x². Gordura da carne: C18:3n6 = 0,1416 - 0,0014x + 0,00001x²

Tabela 3 – Atividade das enzimas na gordura subcutânea e na carne de suínos alimentados com cromo levedura por diferentes períodos antes do abate

Gordura	Período de suplementação				Valor P	CV
	0	38	62	94		
Subcutânea						
Δ^5 -Dessaturase	0,704	0,699	0,708	0,702	0,98	6,97
Δ^9 -Dessaturase**	0,510	0,534	0,527	0,514	0,02	3,36
Elongase**	0,173	0,160	0,157	0,167	0,02	7,43
Carne						
Δ^5 -Dessaturase	0,873	0,866	0,860	0,868	0,67	2,20
Δ^9 -Dessaturase	0,549	0,556	0,564	0,567	0,20	2,79
Elongase	0,154	0,145	0,140	0,141	0,10	6,95

**Efeito quadrático ($P < 0,05$). Δ^9 -Dessaturase = $0,5104 + 0,0009x - 0,000009x^2$; Elongase = $0,1734 - 0,0006x - 0,000006x^2$.

Esse resultado observado para o cromo, é o mesmo efeito que se encontra em relação a utilização de ractopamina. Para se obter a máxima resposta, a sua utilização não pode ser superior a 28 dias, pois acima disso ocorre dessensibilização dos receptores β -adrenérgicos nas células (Moody et al., 2000). No cromo, essa resposta máxima, onde ocorre a maior redução ou aumento dos ácidos graxos, e possivelmente maior efeito em características de desempenho e carcaça, foi observada em torno dos 51 dias de utilização antes do abate neste estudo.

Na literatura há uma variedade de respostas da utilização do cromo no perfil lipídico suíno. Alguns trabalhos não encontraram efeito na gordura da barriga (Untea et al., 2017) ou no lombo (Jackson et al., 2009), enquanto outros observaram efeitos no ácido palmítico (Grela et al., 1997) ácido linoleico (Grela et al., 1997; Lien et al., 2001), ácido mirístico e α -linolênico (Lien et al., 2001).

Essas variações nas respostas, podem estar relacionadas com vários fatores como a concentração dos nutrientes da dieta, ambiente, fatores de manejo (Lindemann, 2008), sexo, idade, nível de inclusão e até a fonte (Caramori Júnior et al., 2017), pois mesmo considerando que as fontes orgânicas têm maior biodisponibilidade que as fontes inorgânicas, existem diferenças entre elas.

Assim como no presente trabalho, outros autores observaram efeito nos AGMI (Bučko et al., 2013; Bučko et al., 2015), AGS (Grela et al., 1997) e no ácido esteárico e oleico (Lien et al., 2001). Considerando que um dos principais efeitos do cromo sobre as carcaças suínas é observado pela redução da gordura depositada, com conseqüente diminuição da gordura subcutânea (Wang et al., 2007; Wang et al., 2014), pode-se supor que esta redução quantitativa de gordura, pode ser acompanhada da modificação no perfil de ácidos graxos.

Um dos efeitos esperados do cromo é o aumento da sensibilidade à insulina, levando a maior captação da glicose pelas células do tecido muscular suíno (Lien et al., 2001), reduzindo a concentração plasmática (Wang et al., 2007; Peres et al., 2014; Xu et al., 2017), resultando no aumento da quantidade de tecido muscular e redução da gordura. Aumento no fator de crescimento semelhante a insulina tipo 1 indica isso, pois atua no metabolismo das proteínas e na absorção de glicose pelo tecido muscular (Wang et al., 2014).

Essa redução da gordura da carcaça, ocorre pela redução da concentração plasmática de glicose, reduzindo em seguida a síntese *de novo*, que é o processo de formação dos ácidos graxos a partir de outros produtos, e conseqüentemente, o resultado que se pode esperar é de que haja redução do total de ácidos graxos saturados e monoinsaturados, ou de ácidos graxos específicos, como foi observado para o ácido esteárico e os AGS.

Outros fatores colaboram para esta conclusão, como a expressão de genes relacionados a enzimas envolvidos nos processos de lipogênese. A expressão dos genes das enzimas ácido graxo sintase, diacilglicerol aciltransferase 1 e malato desidrogenase foram diminuídas com a utilização de cromo (Wang et al., 2014; Sadeghi et al., 2015).

Porém, a redução da atividade dessas enzimas e da síntese *de novo*, contrariam os resultados encontrados para o ácido oleico e AGMI, pois os mesmos deveriam reduzir seguindo essa lógica. O resultado da suplementação do cromo sobre a enzima esteroil-CoA dessaturase (Δ^9 -dessaturase) explicaria a resposta para o aumento nessas duas variáveis.

A enzima Δ^9 -dessaturase é a responsável por formar uma ligação dupla no ácido esteárico, formando o ácido oleico. No trabalho de Sadeghi et al (2015), a utilização de cromo não teve efeito significativo sobre a expressão do gene relacionado a essa enzima, porém foi possível observar que houve uma expressão ascendente em resposta ao aumento do nível de cromo, o que poderia resultar em aumento no ácido oleico e, conseqüentemente, nos AGMI e AGI.

Com relação aos ácidos graxos poli-insaturados DH- γ -linolênico e araquidônico, houve redução linear conforme se aumentou o período de suplementação de cromo. Esses ácidos graxos podem ser provenientes da dieta ou da síntese a partir do substrato ácido linoleico. A redução dos ácidos graxos indica que a suplementação do cromo pode ter aumentado a utilização dos mesmos como fonte de energia, diminuído sua deposição ou até ter tido efeitos sobre as enzimas Δ^6 -dessaturase, elongase e Δ^5 -dessaturase, que são necessárias para formação destes ácidos graxos (Skiba et al., 2015).

Na avaliação indireta realizada no presente estudo não houve efeito sobre a Δ^5 -dessaturase, e a enzima elongase foi avaliada apenas sobre o seu efeito no aumento de carbonos da cadeia do ácido palmítico (C16:0) e oleico (C18:1). Porém, foi observado um efeito quadrático, que podendo ser extrapolado para a formação do DH- γ -linolênico, explicaria o porquê da sua redução, e conseqüentemente o do ácido araquidônico. Sendo observado esse mesmo efeito para a enzima Δ^6 -dessaturase, explicaria o porquê da menor quantidade de ácido γ -linoleico na carne.

As diferenças para a gordura subcutânea e a gordura da carne, quando se avaliam diferentes dietas, são comumente observadas em vários trabalhos (Grela et al., 1997; Jackson et al., 2009; Alencar et al., 2017). Isso ocorre principalmente porque a gordura da carne possui menor presença de triglicérides, por sua menor deposição lipídica em relação a

gordura subcutânea, e maior quantidade de fosfolipídios, pertencentes a parede celular, que são menos influenciados pela dieta (Corino et al., 2014).

Ainda que os outros trabalhos indiquem os efeitos da suplementação com cromo no perfil lipídico como neste estudo, as mudanças nos ácidos graxos não foram suficientes a ponto de alterar os índices que indicam a qualidade dessa gordura para a saúde humana. Os índices aterogênico e trombogênico que avaliam a capacidade da gordura de um alimento aumentar as chances de aterosclerose e trombose (Ulbricht e Southgate, 1991), respectivamente, não mudaram conforme se aumentou o período de suplementação do cromo levedura, assim como a relação ômega 6:ômega 3 não foi reduzida para alcançar os níveis considerados adequados para a nutrição humana, que é de 4:1 (Scollan et al., 2006), demonstrando a ineficiência da utilização do cromo levedura para melhorar a qualidade da gordura suína.

Quando se compara a inclusão de aditivos, com a modificação dos ingredientes das dietas, principalmente incluindo fontes lipídicas, é possível observar maior efeito da fonte de gordura sobre o perfil lipídico da gordura suína, por alterar maior quantidade de ácidos graxos e seus índices, como também sua maior modificação na concentração. Esses efeitos são observados para a inclusão de óleo de soja (Alencar et al., 2017), óleo de linhaça (Jiang et al., 2017), utilização do ácido linoleico conjugado (Upadhaya et al., 2017), entre outros.

CONCLUSÕES

Períodos crescentes de utilização do cromo levedura antes do abate influenciam o perfil lipídico da gordura subcutânea e na carne do músculo longissimus lumborum, com menor efeito na carne. Os ácidos graxos saturados, monoinsaturados e poli-insaturados são afetados na gordura subcutânea, enquanto não há efeito para os índices de qualidade em nenhum dos

tecidos avaliados. O período de suplementação de maior efeito sobre os ácidos graxos foi em torno de 51 dias.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR SAS, KIEFER C, NASCIMENTO KMRS, VIANA LH, GONÇALVES LMP, ROCHA GC, CORASSA A, SANTOS APD. 2017. Net energy levels on the lipid profile of pork. *Cienc Rural* 47 (10): e20170189.
- BUČKO O, VAVRIŠÍNOVÁ K, PETRAK J, DEBRECENI O, HELLOVÁ D. 2013. The analysis of pork quality affected by diet containing organic chromium. *Acta Fytotech Zootech* 16 (1).
- BUČKO O, LEHOTAYOVÁ A, HAŠČÍK P, BAHELKA I, GÁBOR M, BOBKO M, DEBRECENI O, TREMBECKÁ L. 2015. Effect Of Chromium Nicotinate On Oxidative Stability, Chemical Composition And Meat Quality Of Growing-Finishing Pigs. *Potr S J F Sci* 9 (1): 562-572.
- BOLEMAN SL, BOLEMAN SJ, BIDNER TD, SOUTHERN LL, WARD TL, PONTIF JE, PIKE MM. 1995. Effect of chromium picolinate on growth, body composition, and tissue accretion in pigs. *J Anim Sci* 73: 2033–2042.
- CALVO L, SEGURA J, TOLDRÁ F, FLORES M, RODRÍGUEZ AI, LÓPEZ-BOTE CJ, REY AI. 2017. Meat quality, free fatty acid concentration, and oxidative stability of pork from animals fed diets containing different sources of selenium. *Food Sci Technol Int* 23 (8): 716-728.
- CARAMORI JÚNIOR JGC, KIEFER C, FERREIRA EV, VIEIRA BS, OLIVEIRA HC, SILVA CM, ABREU RC, DE LUNA UV. 2017. Chromium and selenium-enriched yeast for castrated finishing pigs: effects on performance and carcass characteristics. *Semin Cienc Agrar* 38 (6): 3851-3859.

- CORINO C, ROSSI R, CANNATA S, RATTI S. 2014. Effect of dietary linseed on the nutritional value and quality of pork and pork products: Systematic review and meta-analysis. *Meat Sci* 98 (4): 679-688.
- GEBHARDT JT, WOODWORTH JC, TOKACH MD, DEROUCHÉY JM, GOODBAND RD, LOUGHMILLER J, DRITZ SS. 2016. Determining the Influence of KemTRACE Cr and/or Micro-Aid on Growth Performance and Carcass Composition of Pigs Housed in a Commercial Environment. *Kans Aes Res* 2 (8): 36.
- GRELA ER, STUDZINSKI T, RABOS A, WINIARSKA A, DZIDUCH J. 1997. Effect of a chromium yeast supplement in growing-finishing pig diets on performance, carcass traits and fatty acid composition of adipose tissue. *J Anim Feed Sci* 6 (1): 87-100.
- HARA A AND RADIN NS. 1978. Lipid extraction of tissues with low-toxicity solvent. *Anal Biochem* 90: 420-426.
- JACKSON AR, POWELL S, JOHNSTON SL, MATTHEWS JO, BIDNER TD, VALDEZ FR, SOUTHERN LL. 2009. The effect of chromium as chromium propionate on growth performance, carcass traits, meat quality, and the fatty acid profile of fat from pigs fed no supplemented dietary fat, choice white grease, or tallow. *J Anim Sci* 87 (12): 4032-4041.
- JIANG J, TANG X, XUE Y, LIN G, XIONG YL. 2017. Dietary linseed oil supplemented with organic selenium improved the fatty acid nutritional profile, muscular selenium deposition, water retention, and tenderness of fresh pork. *Meat Sci* 131: 99-106.
- LI YS, ZHU NH, NIU PP, SHI FX, HUGHES CL, TIAN GX, HUANG RH. 2013. Effects of dietary chromium methionine on growth performance, carcass composition, meat colour and expression of the colour-related gene myoglobin of growing-finishing pigs. *Asian Australas J Anim Sci* 26 (7): 1021.
- LIEN TF, WU CP, WANG BJ, SHIAO MS, SHIAO TY, LIN BH, LU JJ, HU CY. 2001. Effect of supplemental levels of chromium picolinate on the growth performance, serum

- traits, carcass characteristics and lipid metabolism of growing-finishing pigs. *J Anim Sci* 72 (2): 289–296.
- LINDEMANN MD, CROMWELL GL, MONEGUE HJ, PURSER KW. 2008. Effect of chromium source on tissue concentration of chromium in pigs. *J Anim Sci* 86 (11): 2971-2978.
- MOODY DE, HANCOCK DL, ANDERSON DB. 2000. Phenethanolamine repartitioning agents. In: *Farm animal metabolism and nutrition*. MELLO JPDF, (Ed.). CAB, New York, p. 65-95.
- OHH SJ AND LEE JY. 2005. Dietary chromium-methionine chelate supplementation and animal performance. *Asian Austral J Anim Sci* 18 (6): 898-907.
- PARK JK, LEE JY, CHAE BJ, OHH SJ. 2009. Effects of different sources of dietary chromium on growth, blood profiles and carcass traits in growing-finishing pigs. *Asian Austral J Anim Sci* 22 (11): 1547-1554.
- PERES LM, BRIDI AM, SILVA CAD, ANDREO N, BARATA CCP, DÁRIO JGN. 2014. Effect of supplementing finishing pigs with different sources of chromium on performance and meat quality. *R Bras Zootec* 43 (7): 369-375.
- ROSTAGNO HS, ALBINO LFT, DONZELE JL, GOMES PG, OLIVEIRA RF, LOPES DC, FERREIRA AS, BARRETO SLT, EUCLIDES RF. 2011. *Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais*. 3rd ed., Editora UFV, Viçosa, MG, Brazil. 252 p.
- SADEGHI M, PANAH MJN, BAKHTIARIZADEH MR, EMAMI A. 2015. Transcription analysis of genes involved in lipid metabolism reveals the role of chromium in reducing body fat in animal models. *J Trace Elem Med Biol* 32: 45-51.

- SALES J AND JANCÍK F. 2011. Effects of dietary chromium supplementation on performance, carcass characteristics, and meat quality of growing-finishing swine: a meta-analysis. *J Anim Sci* 89: 4054–4067.
- SCOLLAN ND, HOCQUETTE J-F, NUERNBERG K, DANNENBERGER D, RICHARDSON RI, MALONEY A. 2006. Innovations in beef production systems that enhance the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality. *Meat Sci* 74:17–33.
- SHELTON JL, PAYNE RL, JOHNSTON SL, BIDNER TD, SOUTHERN LL, ODGAARD RL, PAGE TG. 2003. Effect of chromium propionate on growth, carcass traits, pork quality, and plasma metabolites in growing-finishing pigs. *J Anim Sci* 81 (10): 2515-2524.
- SKIBA G, POŁAWSKA E, SOBOL M, RAJ S, WEREMKO D. 2015. Omega-6 and omega-3 fatty acids metabolism pathways in the body of pigs fed diets with different sources of fatty acids. *Arch Anim Nutr* 69 (1): 1-16.
- ULBRICHT TLV AND SOUTHGATE DAT. 1991. Coronary heart disease: Seven dietary factors. *Lancet* 338: 985-992.
- UNTEA AE, VARZARU I, PANAITTE TD, HABEANU M, ROPOTA M, OLTEANU M, CORNESCU GM. 2017. Effects of chromium supplementation on growth, nutrient digestibility and meat quality of growing pigs. *S Afr J Anim Sci* 47 (3): 332-341.
- UPADHAYA SD, YUN HM, HUANG S, KIM IH. 2017. Efficacy of dietary supplementation of fatty acid compound on performance and production in finishing pigs. *Trop Anim Health Prod* 49 (6): 1281-1288.
- WANG MQ, XU ZR, ZHA LY, LINDEMANN MD. 2007. Effects of chromium nanocomposite supplementation on blood metabolites, endocrine parameters and immune traits in finishing pigs. *Anim Feed Sci Tech* 139 (1): 69-80.

- WANG MQ, WANG C, DU YJ, LI H, TAO WJ, YE SS, HE YD, CHEN SY. 2014. Effects of chromium-loaded chitosan nanoparticles on growth, carcass characteristics, pork quality, and lipid metabolism in finishing pigs. *Livest Sci* 161: 123-129.
- XU X, LIU L, LONG SF, PIAO XS, WARD TL, JI F. 2017. Effects of Chromium Methionine Supplementation with Different Sources of Zinc on Growth Performance, Carcass Traits, Meat Quality, Serum Metabolites, Endocrine Parameters, and the Antioxidant Status in Growing-Finishing Pigs. *Biol Trace Elem Res* 179 (1): 70-78, 2017.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na revisão de literatura, o perfil de ácidos graxos da gordura suína é formado pela síntese *de novo* e pela ingestão desses ácidos graxos por meio da dieta. A composição dessa gordura animal possui influência sobre a saúde humana, direcionando a atenção dos consumidores a essa questão. Por conta disso, estudos têm sido direcionados para avaliar quais fatores alteram os ácidos graxos da gordura suína, sendo observado que a dieta animal é a que possui maior efeito.

Fontes lipídicas possuem ácidos graxos que alteram o perfil lipídico da gordura suína. Foi observado que a utilização de níveis de óleo de soja na dieta de suínos, incrementa a concentração de ácidos graxos poli-insaturados e reduz a concentração de ácidos graxos monoinsaturados e saturados na gordura suína, melhorando os índices que indicam a qualidade da gordura para a saúde humana.

Com relação a utilização de cromo em dietas, existem indícios de que possa alterar o perfil de ácidos graxos da gordura suína, entretanto as informações ainda são escassas. O trabalho indicou que o período de suplementação do cromo possui efeito sobre alguns ácidos graxos, atingindo um ponto de máximo efeito em torno dos 51 dias, em seguida reduzindo sua atividade. Possivelmente o seu efeito esteja relacionado com a atividade das enzimas envolvidas com o processo da lipogênese.

Apesar dos esclarecimentos indicados pela revisão de literatura e pelos trabalhos realizados, mais pesquisas devem ser feitas para compreender os efeitos da dieta na deposição de ácidos graxos na gordura suína. Outra variável que pode ser analisada nesses experimentos, é a oxidação lipídica, e principalmente qual a percepção dos consumidores sobre o enriquecimento da gordura suína com ácidos graxos saudáveis.