



TATIANE MENDONÇA NOGUEIRA

**EFEITO DA ASSOCIAÇÃO DE MINERAIS
SOBRE O DESEMPENHO E A QUALIDADE DA
CARNE DE SUÍNOS**

**LAVRAS - MG
2016**

TATIANE MENDONÇA NOGUEIRA

**EFEITO DA ASSOCIAÇÃO DE MINERAIS SOBRE O DESEMPENHO E
A QUALIDADE DA CARNE DE SUÍNOS**

**Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do
Programa de Pós-graduação em
Ciências Veterinárias, área de
concentração em Produção
Animal, para a obtenção do título
de mestre.**

**Dr. Peter Bitencourt Faria
Orientador**

**LAVRAS- MG
2016**

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

Nogueira, Tatiane Mendonça.

Efeito da associação de minerais sobre o desempenho e a
qualidade da carne de suínos / Tatiane Mendonça Nogueira. –
Lavras: UFLA, 2016.

102 p.: il.

Dissertação (mestrado acadêmico) – Universidade Federal de
Lavras, 2016.

Orientador: Peter Bitencout Faria.

Bibliografia.

1. Conservação da carne. 2. Carcaça. 3. Suínos. 4.
Suplementação mineral. I. Universidade Federal de Lavras. II.
Título.

TATIANE MENDONÇA NOGUEIRA

**EFEITO DA ASSOCIAÇÃO DE MINERAIS SOBRE O DESEMPENHO E
A QUALIDADE DA CARNE DE SUÍNOS**

**EFFECT OF MINERAL ASSOCIATION ON PERFORMANCE AND
QUALITY OF PORK MEAT**

**Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do
Programa de Pós Graduação em
Ciências Veterinárias, área de
concentração em Produção
Animal, para a obtenção do título
de mestre.**

APROVADA em 16 de setembro de 2016.

Dr. Peter Bitencourt Faria	UFLA
Dr. Eduardo Mendes Ramos	UFLA
Dr. Leonardo da Silva Fonseca	UNIFENAS
Dr. Vinicius de Souza Cantarelli	UFLA

**Dr. Peter Bitencourt Faria
Orientador**

**LAVRAS- MG
2016**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida e por sempre me dar forças para correr atrás dos meus sonhos. A Ele, louvor e glória para sempre!

Agradeço também, infinitamente, aos meus amados pais, João Antônio e Suelene que não mediram esforços para me proporcionar a melhor educação, por me ensinarem os valores de dignidade, honestidade e perseverança, por serem meus exemplos de vida e motivo de orgulho.

Aos meus irmãos, Caroline e Fábio, que estão sempre ao meu lado, pelo companheirismo e amizade durante toda a jornada.

Aos meus avós, tios, primos, cunhado e afilhada, por serem a melhor família que alguém poderia ter.

Ao meu amor, Gustavo, que me deu todo apoio, carinho, atenção e dedicou toda a sua paciência nos momentos em que desabei e aos meus sogros, pelo carinho e confiança.

Aos tantos amigos que conquistei ao longo do mestrado, obrigada por fazerem meus dias mais especiais.

Agradeço também ao Professor Peter, pela ótima orientação e pela confiança depositada em minha pessoa e em meu trabalho. Aos colegas de trabalho do Laboratório de Inspeção de Produtos de Origem Animal: Ana, Angela, Arthur, Claudiana, Fábio, Fernanda, Isabella, Joanna, Lorena P., Lorena S., Paula C., Paula M., por toda colaboração e pelas risadas que demos juntos.

À turma do NESUI e Animal Nutri, principalmente César e Hebert, pela imensa ajuda em todas as etapas do meu experimento.

Aos professores Vinicius, Eduardo e Leonardo, pela colaboração com o desenvolvimento da minha dissertação e elaboração dos artigos.

À Capes, à UFLA e à NPA, pelo financiamento e infraestrutura que me permitiram executar meu projeto de pesquisa.

A todos, minha eterna gratidão!

RESUMO GERAL

A suinocultura brasileira vem investindo intensamente na produção de animais com melhores características de carcaça, aliado a um menor custo e maior rendimento de tecido magro em detrimento ao tecido adiposo sem, contudo, afetar as características de qualidade de carne. Sendo assim, objetivou-se com este trabalho, estudar os efeitos da suplementação dietética de suínos machos em terminação com a associação de minerais orgânicos: cromo (Cr), ferro (Fe), magnésio (Mg) e selênio (Se), sobre desempenho, características de carcaça e viabilidade econômica de seu uso, e também sobre a qualidade, perfil lipídico e *display life* da carne. O delineamento experimental foi em blocos completos casualizados (DBC), com 4 tratamentos (dietas) e 11 repetições. A parcela experimental para o estudo de desempenho foi representada por dois animais, totalizando 88 animais, enquanto para o estudo de carcaça e qualidade de carne, foi representada por um animal, somando 44 animais. Os animais foram aleatoriamente divididos em quatro grupos, recebendo os seguintes tratamentos: 1) Controle: dieta basal sem suplementação mineral durante 28 dias; 2) CrFe: dieta basal suplementada com 400 ppb de cromo e 100 ppm de ferro durante 28 dias; 3) MgSe: dieta basal durante 28 dias, suplementada com 300 ppm de magnésio e 3 ppm de selênio nos últimos 7 dias antes do abate; 4) CrFeMgSe: dieta basal suplementada com 400 ppb de cromo e 100 ppm de ferro durante 28 dias e 300 ppm de magnésio e 3 ppm de selênio nos últimos 7 dias antes do abate. A associação dos quatro minerais promoveu redução no desempenho, peso e quantidade de carne das carcaças, com consequente aumento no custo de produção. O uso de magnésio com selênio promoveu uma redução no extrato etéreo da carne e uma modificação no perfil lipídico, reduzindo os ácidos graxos aterogênicos (C14:0 e C16:0) e aumentando C17:1, C18:2 ω 6, C20:2 ω 6, C20:3 ω 6, C20:4 ω 6, C22:0 e C22:6 ω 3, sem interferir na qualidade e oxidação da carne. Houve ainda aumento no total de ácidos graxos poli-insaturados, no total de ω 6 e ω 3, na relação POL:SAT e na atividade da enzima tioesterase, enquanto o índice de aterogenicidade foi reduzido, indicando que esses minerais podem ser utilizados como uma ferramenta, tornando a carne suína um alimento funcional e com aspectos mais adequados ao consumo humano. Contudo, estudos mais aprofundados são necessários a fim de elucidar o mecanismo envolvido entre esses minerais e as modificações no perfil lipídico da carne, já que não se encontra dados na literatura com essa associação.

Palavras-chave: Conservação da carne. Carcaça. Suínos. Suplementação mineral.

GENERAL ABSTRACT

Brazilian pig farming has been intensively investing in the production of animals with better carcass characteristics, joining low costs and a higher yield of lean tissue in prejudice to adipose tissue, however, without affecting meat quality characteristics. So, this paper aimed to study the effects of dietary supplementation of finishing male swine with the joining of organic minerals: chromium (Cr), iron (Fe), magnesium (Mg) and selenium (Se), on the performance, carcass characteristics and the economic viability of its use, and also on the quality, lipid profile and display life of meat. The experiment was designed in randomized complete blocks (DBC), with four treatments (diets) and 11 replications. The experimental unit for the performance study was represented by two animals, in a total of 88 animals, whereas for the study of carcass and meat quality, it was represented by one animal, totaling 44 animals. The animals were randomly separated in four groups, receiving the following treatments: 1) Control: basal diet without mineral supplementation during 28 days; 2) CrFe: basal diet supplement with 400 ppb of chromium and 100 ppm of iron during 28 days; 3) MgSe: basal diet during 28 days supplement with 300 ppm of magnesium and 3 ppm of selenium in the last seven days before slaughter; 4) CrFeMgSe: basal diet supplement with 400 ppb of chromium and 100 ppm of iron during 28 days, and 300 ppm of magnesium and 3 ppm of selenium in the last seven days before slaughter. The combination of the four minerals caused a decrease of performance, weight and meat quantity of the carcasses, with a higher production cost. The combined use of magnesium and selenium reduced the ethereal extract of meat and caused a modification in the lipid profile, reducing atherogenic fatty acids (C14:0 e C16:0) and increasing C17:1, C18:2 ω 6, C20:2 ω 6, C20:3 ω 6, C20:4 ω 6, C22:0 and C22:6 ω 3, without interfering in the quality and oxidation of meat. There was also an increase in total poly-unsaturated fatty acids, totaling ω 6 and ω 3, in the relation POL:SAT and in the thioesterase enzyme activity, while the atherogenicity index was reduced, indicating that these minerals can be used as a tool making pork meat a functional food and with more suitable aspects for human consumption. However, further studies are needed to elucidate the mechanism involved between these minerals and the changes in the lipid profile of meat, since there is no data in the literature with this combination.

Keywords: Meat Conservation. Carcass. Swine. Mineral supplementation.

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	9
1	INTRODUÇÃO.....	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1	pH	12
2.2	Capacidade de retenção de água (CRA)	15
2.3	Cor	17
2.4	Maciez	19
2.5	Composição e valor nutricional da carne suína	20
2.6	Composição lipídica da carne suína	22
2.7	Suplementação com ferro e sua influência sobre o desempenho, características de carcaça e a qualidade da carne suína	24
2.8	Suplementação com cromo e sua influência sobre o desempenho, características de carcaça e a qualidade da carne suína	25
2.9	Suplementação com magnésio e sua influência sobre o desempenho, características de carcaça e a qualidade da carne suína	26
2.10	Suplementação com Selênio e sua influência sobre o desempenho, características de carcaça e a qualidade da carne suína	28
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
	REFERÊNCIAS.....	31
	SEGUNDA PARTE – ARTIGOS	40
	ARTIGO 1 – DESEMPENHO, CARACTERÍSTICAS DE CARCAÇA E CUSTO DE PRODUÇÃO DE SUÍNOS EM TERMINAÇÃO SUPLEMENTADOS COM MINERAIS	40
	ARTIGO 2 - PERFIL LIPÍDICO, QUALIDADE E OXIDAÇÃO LIPÍDICA DA CARNE DE SUÍNOS EM TERMINAÇÃO SUPLEMENTADOS COM MINERAIS	66

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

A produção suínica brasileira está voltada para a conquista de novos mercados como, por exemplo, o Japão que atualmente é o maior importador de carne suína do mundo e que, somente neste ano de 2016, autorizou as exportações desse produto para o seu país. No entanto, para que nossa carne seja aceita, é necessário que atenda às rigorosas exigências impostas pelos japoneses, no que diz respeito às questões sanitárias e outras especificações como: peso de carcaça, espessura de toucinho e cor da carne. Dessa forma, melhorar essas características e principalmente a coloração da carne suína produzida no Brasil, é um dos pontos essenciais para a manutenção das negociações entre os dois países.

O melhoramento genético voltado para maior deposição de massa muscular levou a uma mutação no gene rianodina (halotano), propiciando o aparecimento da Síndrome do Estresse Suíno. Como consequência, houve um aumento na ocorrência de defeitos de qualidade da carne, associados ao baixo pH, levando à maior palidez, principalmente naquelas carnes em que predominam as fibras com alto potencial glicolítico, fato observado nas linhagens comerciais atuais. Esse tipo de fibra possui baixos teores de mioglobina, resultando em uma coloração menos avermelhada, além de possuir maior conteúdo de glicogênio e metabolismo anaeróbico, favorecendo maior produção de lactato no período *post mortem*, predispondo ainda mais ao surgimento de PSE.

Nesse sentido, muitas pesquisas têm focado em alternativas nutricionais que interfiram no metabolismo muscular no período pré-abate, buscando melhorar a qualidade da carne sem, contudo, interferir negativamente no desempenho dos animais. Ainda, a população tem se preocupado em consumir

alimentos mais saudáveis e, reduzir a quantidade de gordura na carne suína, além de promover modificações benéficas em seu perfil lipídico, poderia ser conseguido através do manejo dietético.

O magnésio e o cromo são minerais que atuam no metabolismo dos carboidratos, proteínas e lipídios, colaborando para maior deposição de tecido magro e diminuição da gordura, constituindo uma ferramenta favorável na melhoria do desempenho animal e na obtenção de carcaças com características mais desejáveis. O magnésio, por atuar na redução da liberação de catecolaminas momentos antes do abate, ainda auxilia na diminuição do estresse do animal e do metabolismo muscular, ocasionando uma redução na queda brusca de pH e desnaturação de proteínas, favorecendo uma carne com melhores características sensoriais e tecnológicas. O ferro, por ser um constituinte importante da porção heme dos pigmentos mioglobina e hemoglobina, poderia proporcionar uma melhora na sua coloração, que depende do estado de oxidação deste mineral. Assim como o magnésio, ambos têm demonstrado aumentar a vermelhidão da carne.

O selênio, que tem função antioxidante, atua na prevenção dos danos às membranas celulares, mantendo sua integridade e estabilidade oxidativa, evitando a perda excessiva de líquidos e prolongando a vida de prateleira dos produtos cárneos no mercado varejista. Tanto o selênio quanto o magnésio, também têm influenciado a atividade de enzimas relacionadas ao metabolismo de ácidos graxos essenciais, como a $\Delta 6$ -dessaturase, e poderiam então, melhorar o perfil lipídico da carne pela incorporação de ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa como os da família $\omega 3$, importantes para a manutenção da saúde e, por não serem produzidos pelo organismo humano, necessitam ser ingeridos através da dieta. Juntos, esses minerais podem proporcionar não somente uma melhoria geral da qualidade da carne, como também seu enriquecimento com

nutrientes essenciais ao bom funcionamento do corpo, surgindo como meio de agregação de valor ao produto.

Na literatura são reportados trabalhos com a suplementação de cromo, ferro, magnésio e selênio, com o intuito de melhorar o desempenho, características de carcaça e qualidade da carne, porém, de forma isolada, não sendo encontrados dados referentes ao seu uso associado. Sendo assim, devido à necessidade de maiores conhecimentos relacionados ao uso conjunto desses minerais, objetivou-se com este estudo, verificar a influência da suplementação dietética com diferentes associações entre eles, sobre o desempenho, características de carcaça e custo de produção de suínos em terminação, além dos efeitos no perfil lipídico, qualidade e *display life* da carne desses animais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A indústria de carnes tem como foco atingir um alto padrão de qualidade em seus produtos e para isso, é imprescindível que a matéria-prima utilizada apresente características adequadas para seu processamento. A cor, a capacidade de retenção de água, a textura, além da quantidade e qualidade dos lipídios presentes na carne, são atributos de extrema importância e que em conjunto, determinam a aceitação ou não por parte do consumidor, tanto da carne fresca como do produto final. Dessa forma, buscar alternativas que melhorem esses parâmetros, passa a ter grande atenção por parte dos pesquisadores, a fim de entenderem os mecanismos envolvidos nos processos e conseguirem reproduzir os efeitos observados nos experimentos em situações práticas a campo. Sendo assim, neste tópico serão abordadas algumas informações relacionadas às características de qualidade da carne, além das funções e importância dos minerais: cromo, ferro, magnésio e selênio, enfocando os principais resultados encontrados na literatura sobre a melhoria desses parâmetros a partir da suplementação dietética com os esses minerais.

2.1 pH

O pH é uma das características de qualidade mais importantes na avaliação da qualidade da carne, pois exerce influência tanto direta quanto indireta em parâmetros como cor e capacidade de retenção de água (CRA), podendo influenciar nas taxas de rendimento, maciez e suculência. Além disso, na produção de carne suína é uma valiosa ferramenta na indicação de condições como PSE e DFD (*dark, firm and dry* – escura, firme e seca) (SOMERS; TARRANT; SHERINGTON, 1985).

A carne PSE ocorre devido à elevação da taxa de glicólise (mecanismo de quebra de glicose para obtenção de energia), ocasionada pelo estresse agudo imediatamente antes do abate, principalmente em animais susceptíveis. Ocorre mais comumente em espécies com predominância de fibras brancas ou glicolíticas (metabolismo anaeróbico), como suínos e algumas aves, em que o nível de glicogênio muscular é elevado (GOMIDE; RAMOS; FONTES, 2013). Esse defeito de qualidade representa um grande problema para a indústria, pois a perda excessiva de água através da exsudação, com a flacidez e coloração mais clara, além de serem rejeitadas pelos consumidores na hora da compra, ainda é prejudicial aos processos industriais de fabricação (D'SOUZA et al., 1998).

A diminuição do pH da carne no pós-abate está relacionada com a produção de ácido láctico, metabólito final da via glicolítica anaeróbica. Assim, a falta de oxigênio induz a utilização dessa via como fonte de energia para a contração muscular. O lactato é produzido quando cessa a circulação sanguínea para os tecidos e se acumula, devido à sua deficiente remoção do meio intracelular. São gerados ainda, íons H^+ pela hidrólise de ATP, contribuindo significativamente para maior acidificação da carne após o abate (RÜBENSAM, 2000).

O pH baixo (valores menores que 5,8 em apenas 45 minutos após o abate) com uma elevada temperatura da carcaça (~38 °C) tem como consequência, uma maior desnaturação das proteínas miofibrilares, reduzindo assim, a sua solubilidade e sua capacidade de retenção de água (CRA). Nessas condições, ocorre também desnaturação de proteínas sarcoplasmáticas com perda da potência do pigmento de mioglobina, afetando a opacidade e translucidez da carne, com aumento da reflectância interna e, conseqüentemente da luminosidade de sua superfície. A perda de água ocasiona uma redução do espaço entre os miofilamentos, fazendo com que pouca quantidade de luz consiga penetrar no interior da carne, sendo grande parte desviada devido ao

maior poder de dispersão conferido pelo menor volume das miofibrilas (RAMOS; GOMIDE, 2012). A quantidade aumentada de água livre extracelular leva o tecido a apresentar muitas superfícies que refletem mais a luz ao invés de absorvê-la, impedindo que os raios incidentes alcancem o pigmento, reduzindo a intensidade da cor e aumentando a sua luminosidade. A maior desnaturação dos pigmentos de mioglobina contribui ainda mais para a uma maior palidez (BENDALL; SWATLAND, 1988; FORREST et al., 1975).

Por outro lado, quando os animais sofrem estresse crônico ou são submetidos a jejum prolongado, suas reservas de glicogênio são diminuídas, impossibilitando a ocorrência da via glicolítica e conseqüentemente, não há abaixamento suficiente do pH 24 horas *post mortem*, ficando então, acima de 6,0. Assim, surge a condição DFD (do inglês *dark, firm and dry*), um defeito de qualidade em que a carne se apresenta escura, firme e seca. Esse pH elevado faz com que as proteínas miofibrilares da carne fiquem acima do seu ponto isoelétrico (valor de pH em que a carga líquida da proteína é igual a zero), aumentando dessa forma, a quantidade de cargas positivas nessas proteínas. Ocorre então que essas cargas atraem fortemente a água, resultando em uma elevada capacidade de retenção dessa molécula que estará fortemente ligada às proteínas miofibrilares, fazendo com que a superfície apresente uma menor luminosidade, devido à menor reflexão da luz incidente e provocando assim, uma aparência escura. Esse pH elevado altera também as características de absorção de luz da mioglobina favorecendo essa aparência escura (LAWRIE, 2005). É uma condição mais comum em animais com predominância de fibras vermelhas ou oxidativas (metabolismo aeróbico), como bovinos, ovinos e caprinos (GOMIDE; RAMOS; FONTES, 2013).

O pH inicial (medido 45 minutos após o abate) é utilizado como indicador da velocidade de glicólise *post mortem* e, conseqüentemente, da qualidade final da carne, e influencia diretamente a perda de peso por

gotejamento e a coloração da carne (WARRISS; BROWN, 1987). O pH final (medido 24 horas *post mortem*) da carne suína apresenta alta correlação com a cor, avaliada no mesmo momento. Já a relação com a capacidade de retenção de água não é muito consistente ($r = 0,3$) (DEVOL et al., 1988; HOLMER et al., 2009; LI et al., 2013).

Várias pesquisas têm demonstrado que a utilização de estratégias nutricionais no período próximo ao abate, pode alterar os estoques de glicogênio muscular e com isso, afetar a taxa de declínio do pH da carne. O uso de magnésio no período pré-abate, por exemplo, vem demonstrando ser uma alternativa promissora na redução da queda brusca do pH, por ter um efeito inibidor da liberação de hormônios do estresse (cortisol, adrenalina e noradrenalina), além de atuar antagonicamente ao cálcio, reduzindo a estimulação neuromuscular e gasto das reservas energéticas e de glicogênio (D'SOUZA et al., 1998; SWIGERT et al., 2004).

2.2 Capacidade de retenção de água (CRA)

A CRA está relacionada à habilidade da carne em reter sua água quando da aplicação de forças externas durante seu processamento (cortes, aquecimento, trituração, centrifugação e prensagem), sendo que muitas das características físicas avaliadas na carne crua (cor, textura e firmeza) e na carne cozida (suculência e maciez) são parcialmente dependentes da CRA (FORREST, 1975). Assim, A CRA é um parâmetro físico importante no que se refere à avaliação da qualidade da carne e seus derivados (CAMPOS, 2008).

A carne fresca ao abate contém cerca de 75% de água, sendo essa quantidade sujeita à variações, devido aos ganhos que ocorrem durante o processamento ou às perdas por gotejamento, evaporação ou cozimento. Essa mobilização da água intracelular é importante, pois determina o rendimento de

produtos à medida que a carne é vendida pelo seu peso e, também, porque as perdas no cozimento reduzem o tamanho, a suculência e a maciez da carne e ainda, pode gerar uma aparência desagradável (OFFER; TRINICK, 1983). A perda de água pela carne pode afetar tanto os seus aspectos sensoriais, como principalmente, o processamento tecnológico de produtos derivados, como embutidos, carnes salgadas, produtos defumados, etc. (FORREST et al., 1975), além de ter um efeito direto na perda de peso das carnes durante o armazenamento da carcaça (ALVES, 2011).

Quando a CRA é baixa, a perda de umidade e conseqüentemente a perda de peso (encolhimento) é maior durante a estocagem, ocorrendo também uma perda adicional durante o cozimento por meio da evaporação e gotejamento, causando uma percepção de secura e dureza durante o consumo. Ainda, uma reduzida CRA indica que houve uma quebra na estrutura das proteínas (desnaturação) da carne incluindo a mioglobina, que perdem a capacidade de se ligar à água e segurá-la. A perda de água e a conseqüente redução do espaço entre as miofibrilas prejudica a absorção da luz incidente, resultando em maior dispersão dessa na superfície da carne, que se apresenta mais pálida (FORREST, 1975).

Segundo Kauffman et al. (1986) a CRA pode ser utilizada na distinção das condições PSE e DFD das carnes normais. Esses autores observaram um percentual de perda de peso por gotejamento de 8,8% e 1,0% para carnes PSE e DFD respectivamente, enquanto a carne com características normais apresentou perda média de 4,3%.

Quando o pH do músculo se encontra acima ou abaixo do ponto isoelétrico (~5,3) das proteínas miofibrilares, aumenta o número de cargas disponíveis para se ligar à água, aumentando assim, sua CRA. Quando, no entanto, o pH corresponde ao ponto isoelétrico, os grupos carregados estão indisponíveis para a ligação com a água, apresentando o menor valor de CRA.

Ainda, ocorre uma maior proximidade dos miofilamentos finos e grossos, reduzindo dessa forma, os espaços onde a água ficaria retida, forçando a saída do excesso (KAUFFMAN et al., 1986).

A rápida queda no pH associada às altas temperaturas da carne no pós-abate causam uma excessiva desnaturação das proteínas sarcoplasmáticas e miofibrilares (SAYRE; BRISKEY; HOEKSTRA, 1963) e essa desnaturação faz com que as proteínas percam a capacidade de aprisionar a água no tecido que migra para a superfície (ANGERAMI, 2004), sendo a CRA bastante influenciada por esses fatores e pela quantidade de espaço dentro das miofibrilas, principalmente, pois é onde a maioria da água se encontra. A conversão do músculo em carne, além da proteólise muscular causada por enzimas (maturação) que acontecem no período *post mortem*, tem grande efeito nessa característica (LAWRIE, 2005).

Um dos testes realizados para se verificar a CRA da carne é a perda de peso por gotejamento, um método gravimétrico que mede a porcentagem de perda de peso de uma amostra suspensa, durante um determinado período de tempo, sendo essa perda relacionada à quantidade de água extracelular liberada pela carne (HONIKEL, 1998).

A CRA da carne pode ser modificada por meio do uso de estratégias nutricionais. Na literatura encontram-se relatos de diminuição na perda de água por gotejamento através da suplementação dietética com diversas fontes de magnésio fornecido durante 2 e 5 dias antes do abate (APPLE et al., 2000; D'SOUZA et al., 1999, 2000) e também com selênio orgânico fornecido durante o período de crescimento e terminação (MATEO et al., 2007).

2.3 Cor

A cor é a primeira característica a ser considerada pelo consumidor no momento de decidir pela compra ou não da carne, pois estes consideram a

descoloração como indicativo se a carne está fresca e apta ao consumo, sendo associada ao quesito qualidade (MANCINI; HUNT, 2005).

A cor é o resultado da absorção e reflexão da luz pelos pigmentos de um alimento. Na carne, a mioglobina (Mb) é o principal pigmento relacionado à cor, sendo a hemoglobina (Hb), pigmento do sangue, menos importante. Citocromos também são encontrados na carne, porém, sua relevância é maior nas carnes brancas, em que a concentração de mioglobina é muito baixa. Ambas, mioglobina e hemoglobina são proteínas sarcoplasmáticas conjugadas, apresentando um grupo prostético heme, ligado a uma molécula de proteína globular (globina), que possui afinidade pela molécula de oxigênio. A coloração desses pigmentos é diretamente relacionada ao grupo heme. A cor da carne depende da quantidade de mioglobina e também da concentração na superfície de suas formas químicas (oximioglobina, metamioglobina e mioglobina reduzida), influenciando sua tonalidade (MACDOUGALL, 1982; SEIDEMAN et al., 1984).

As três formas químicas da mioglobina presentes na carne *in natura* são: oximioglobina (O_2Mb), mioglobina reduzida ou deoximioglobina (Mb^+) e metamioglobina (MMb). Essas formas ocorrem dependendo do estado de oxidação do íon ferro do grupo heme. Quando em sua forma reduzida (Fe^{+2}), a mioglobina pode se apresentar na forma reduzida de Mb^+ , resultando em uma coloração vermelho-púrpura, escura, quando a carne é embalada a vácuo; ou na forma de O_2Mb , de coloração vermelho brilhante, característica de carne fresca. Quando ocorre a oxidação do ferro (Fe^{+3}) por sua vez, a mioglobina se transforma em metamioglobina, que é responsável pela cor amarronzada da carne (MACDOUGALL, 1982; MANCINI; HUNT, 2005).

A carne de suínos caracteriza-se por apresentar uma cor uniforme, entre rosada e avermelhada, possuindo uma camada de gordura branca (SARCINELLI; VENTURINI; SILVA, 2007). A concentração de mioglobina

no músculo desses animais, se encontra em torno de 1-4 mg de Mb por grama de tecido, contudo, a quantidade de pigmentos varia de acordo com idade, sexo, espécie, localização anatômica do músculo, atividade física exercida pelo animal, além do tipo de fibra e nível de sangria do animal no abate (GARRIDO et al., 1994; SGARBIERI, 1996).

A cor da carne pode ser avaliada de forma objetiva, através de um aparelho colorímetro, que opera de acordo com o sistema CIELAB, uma escala-padrão usada para comunicar e diferenciar as cores, sendo relacionada à capacidade de percepção do olho humano. Essa escala mede o índice de luminosidade (L^*), variando de 0 (preto puro) a 100 (branco puro) e também os índices de vermelho (a^*) e amarelo (b^*) (RAMOS; GOMIDE, 2012).

O magnésio suplementado no período pré-abate, tem sido associado às melhoras na coloração da carne, por diminuir sua luminosidade, resultando em uma aparência menos pálida (D'SOUZA et al., 1998; MACHADO et al., 2008), além de atuar aumentando os valores de a^* e saturação, proporcionando uma carne com vermelho mais vivo (APPLE et al., 2000), assim como o ferro (APPLE et al., 2007).

2.4 Maciez

A maciez é uma característica da textura, considerada juntamente à cor, um dos atributos mais importantes na preferência do consumidor pela carne, sobressaindo sobre o sabor e odor (HUGHES et al., 2014; RISVIK, 1994). Fatores relacionados ao animal como genótipo, sexo, idade, alimentação e manejo, além daqueles relacionados às características físicas da própria carne como, estado de rigidez, capacidade de retenção de água, conteúdo de gordura intramuscular e tecido conectivo, contribuem para a textura final da carne, impactando sobre sua maciez (PARDI et al., 2006).

A textura é definida pelo tamanho dos feixes e fibras musculares e é caracterizada por uma maior ou menor resistência à mastigação. Quanto maior o tamanho dos feixes e mais espesso as fâscias do tecido conectivo no entorno, mais grosseira se torna a textura da superfície de corte transversal da carne, característica não desejada pelo consumidor (PARDI et al., 2006).

O colágeno, principal componente do tecido muscular, afeta a maciez da carne dependendo de sua quantidade e estabilidade das ligações químicas entre suas fibras. A formação de ligações cruzadas causa a queda na solubilidade, aumentando a resistência do tecido conectivo (FORREST, 1975). Animais mais velhos apresentam maior número dessas ligações que animais mais jovens, por isso, com o passar da idade a carne se torna mais dura. Além disso, essas ligações se tornam mais resistentes ao calor (insolúveis), provocando uma sensação de dureza na carne cozida, quando presentes em maior quantidade (BAILEY; SIMS, 1976; GIRARD et al., 2012).

A maciez é mensurada através da avaliação da força de cisalhamento que representa a máxima força necessária para se cortar uma amostra de carne cozida, de tamanho padronizado, no sentido transversal ao comprimento das fibras (OECKEL; WARNANTS; BOUCQUÉ, 1999).

A suplementação com cromo (MATTHEWS et al., 2006), ferro (APPLE et al., 2007), magnésio (TARSITANO et al., 2013) e selênio (LISIAK et al., 2014) não demonstrou afetar a maciez da carne suína.

2.5 Composição e valor nutricional da carne suína

O lombo suíno apresenta uma composição química aproximada de 75% de água, 21% de proteína, 2,4% de gordura e 1,2% de cinzas (PEREDA, 2005), contudo, por se tratar de um produto oriundo de um tecido biológico complexo,

deve-se considerar que são características extremamente variáveis, principalmente o teor de gordura (LAWRIE, 2005).

As proteínas são um dos componentes mais abundantes na carne, ficando atrás somente da água e na maioria dos casos, da gordura. Elas compõem a maioria das substâncias nitrogenadas da carne, sendo classificadas de acordo com sua solubilidade em: proteínas sarcoplasmáticas (30 a 35% do total de proteínas), em que podemos citar as enzimas e os pigmentos como mioglobina e hemoglobina em menor quantidade; proteínas miofibrilares (65 a 75%), destacando-se a actina e a miosina, além da tropomiosina, troponina, actininas e proteínas C e M; e proteínas insolúveis ou do estroma como o colágeno, elastina e reticulina (FORREST, 1975).

A gordura é o componente mais variável, tanto do ponto de vista quantitativo quanto qualitativo. Acumula-se em quatro compartimentos pelo corpo do animal: dentro dos músculos (gordura intramuscular ou marmoreio), entre eles (intermuscular), nas cavidades (visceral) e no subcutâneo (LAWRIE, 2005). É composta principalmente por lipídeos neutros na forma majoritária de triacilgliceróis, com função de reserva energética, além de colesterol e ácidos graxos livres e, por fosfolipídeos, que contribuem para a estrutura e funcionalidade das membranas celulares (FORREST, 1975). A grande maioria dos ácidos graxos presentes nos tecidos de origem animal tem número par de carbonos, embora exista uma pequena porção deles com número ímpar de carbonos, podendo apresentar ou não ligações insaturadas de número variável, denominados ácidos graxos saturados e insaturados, respectivamente. A gordura subcutânea de suínos apresenta uma maior proporção, principalmente dos ácidos graxos oleico, palmítico e esteárico (PEREDA, 2005).

O restante do músculo é composto por carboidratos, principalmente glicogênio e ácido láctico e, por vitaminas e minerais que somados, representam pouco mais de 1% da composição total da carne. Apesar disso, é uma boa fonte

de minerais, com exceção do cálcio que se encontra em sua maioria nos ossos e dentes do animal, sendo rica especialmente de ferro. É também uma excelente fonte de vitaminas do complexo B, apesar de ser pobre em vitamina C, A, D, E e K (FORREST, 1975).

2.6 Composição lipídica da carne suína

Os lipídios da carne, de uma forma geral, contribuem para a melhora do sabor e palatabilidade, além de proporcionar sensação de saciedade. A gordura estimula a salivação durante a mastigação, mantendo a sensação de suculência que ocorre principalmente devido à gordura intramuscular (LAWRIE, 2005). A distribuição uniforme dos lipídios cria uma barreira contra a perda de exsudato durante o cozimento e favorece além da suculência, a palatabilidade da carne. Ainda, a gordura subcutânea também evita o dessecamento e a perda de água durante a refrigeração (FORREST et al., 1975).

A carne suína apresenta uma mistura de ácidos graxos, em que aproximadamente 37% correspondem aos saturados (SAT), 47% aos monoinsaturados (MON) e 15% aos poli-insaturados (POL) (FARIA et al., 2015; UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA, 2016). O conteúdo de lipídeos totais representa 3% em cortes de lombo e de 5% para pernil e paleta, na ausência de gordura externa; quando considerada essa gordura, os valores sobem para 13% (BRAGAGNOLO; RODRIGUEZ-AMAYA, 2002). A relação $\omega 6/\omega 3$ é em média 26% para lombo (ALONSO et al., 2016). Quanto ao perfil de ácidos graxos, a maioria destes (90 a 96%) é representada por 18:1 ω 9 (ácido oleico), 16:0 (ácido palmítico), 18:2 ω 6 (ácido linoleico), 18:0 (ácido esteárico) e 16:1 ω 7 (ácido palmitoleico), principalmente (ENSER et al., 1996; FARIA et al., 2015).

Nos monogástricos, a dieta tem grande influência na composição tecidual corporal, sendo que os ácidos graxos ingeridos são depositados diretamente nos tecidos, sem sofrerem modificação, sendo possível a manipulação através da alimentação (KOUBA; MOUROT, 2011). A gordura é o componente-alvo e o uso de estratégias nutricionais tem o intuito de melhorar o seu perfil de ácidos graxos, tornando-a mais saudável ao consumo humano (ABREU et al., 2014; HAAK et al., 2008). O magnésio pode atuar no aumento do conteúdo de gordura intramuscular além de alterar o perfil de ácidos graxos da carne de suínos (LAHUCKY et al., 2004), assim como o cromo (JACKSON et al., 2009).

O consumo de colesterol e seu elevado nível na corrente sanguínea, desde há muitos anos, tem sido associado ao aparecimento de doenças cardíacas coronarianas em humanos (KANNEL et al., 1971), acarretando em menor consumo de produtos de origem animal, por apresentarem altos teores deste em sua composição (FORREST et al., 1975). Contudo, apesar de seus efeitos deletérios à saúde quando em excesso, ele exerce importantes funções no metabolismo. O conteúdo de colesterol na carne suína crua varia de 30 a 108mg/100g (média de 60mg/100g) (BRAGAGNOLO; RODRIGUEZ-AMAYA, 2002; HAUTRIVE; MARQUES; KUBOTA, 2012; NISTOR et al., 2013; SWIZE et al., 1992; USDA, 2016).

Na literatura são poucos os relatos de trabalhos que observaram alteração nos níveis de colesterol da carne com o uso de aditivos alimentares. Contudo, quando se tem uma redução na gordura da carne, há uma concomitante diminuição no colesterol e, uma mudança no perfil lipídico da gordura com aumento de ácidos graxos saturados como os ácidos láurico (C12:0), mirístico (C14:0) e palmítico (C16:0), eleva a concentração de colesterol, enquanto um aumento em poli-insaturados como o ácido oleico (C18:1), causa uma diminuição nessa concentração (JAKOBSEN, 1999).

2.7 Suplementação com ferro e sua influência sobre o desempenho, características de carcaça e a qualidade da carne suína

O Ferro (Fe) é considerado um micro mineral de fundamental importância em diversas reações bioquímicas, além de ser componente de várias enzimas, destacando-se aquelas envolvidas no transporte de elétrons (nos citocromos) e na ativação e transporte do oxigênio (oxidases, oxigenases, hemoglobina e mioglobina). A deficiência de Fe é bastante comum em suínos, principalmente em neonatos, devido à reduzida reserva desse mineral ao nascimento e rápido aumento das células vermelhas do sangue e da massa corporal observada nessa espécie, necessitando de suplementação já nos primeiros dias de vida (MCDOWELL, 2003).

A carne vermelha contém grande quantidade desse mineral, sendo 60 a 70% encontrado complexado com o grupo heme dos pigmentos de mioglobina e hemoglobina (HAZELL, 1982), sendo a cor da carne influenciada pelo seu estado de oxirredução (oxidado Fe^{3+} ou reduzido Fe^{2+}) (MACDOUGALL, 1982; MANCINI; HUNT, 2005).

A suplementação para suínos com esse mineral, demonstrou não afetar o desempenho, as características de carcaça e a qualidade de carne tanto na fase de crescimento quanto na terminação (APPLE et al., 2007; O'SULLIVAN et al., 2002), apesar de ter sido observada uma cor mais avermelhada (APPLE et al., 2007), possivelmente devido ao aumento na concentração de ferro-heme no músculo após suplementação dietética (YU; HUANG; CHIOU, 2000).

Essa melhora na coloração da carne tem sido foco de pesquisas, já que a carne suína está se tornando cada vez mais pálida, devido ao melhoramento genético realizado ao longo dos anos, visando à deposição de carne magra na carcaça e que levou a uma redução da qualidade da carne e aumento na

incidência de carnes PSE (baixo pH e baixa capacidade de retenção de água) depreciando a cor (MAGANHINI et al., 2007).

2.8 Suplementação com cromo e sua influência sobre o desempenho, características de carcaça e a qualidade da carne suína

O cromo (Cr) é um micromineral essencial, sendo necessário para o funcionamento adequado do metabolismo de carboidratos e lipídios, além de regular a glicose e insulina sanguínea (MERTZ, 1992). Ele potencializa a ação da insulina estimulando o transporte ativo de glicose e melhorando a incorporação e utilização de aminoácidos pelas células musculares, favorecendo dessa maneira a síntese proteica e de RNA (MERTZ, 1993; OKADA; SUZUKI; OHBA, 1983). Segundo Anderson (1987) o mineral atua aumentando o número de receptores de insulina na superfície celular ou aumentando a afinidade destes à insulina e, possivelmente, uma combinação de ambos os mecanismos.

Ainda, influencia na redução dos níveis de colesterol total e triacilgliceróis sanguíneos pelo aumento da atividade da enzima Lipoproteína Lipase (AMOIKON et al., 1995; PAGE et al., 1993) e aumenta a digestibilidade da matéria seca, resultando em maiores valores de energia digestível e metabolizável das rações que contém cromo (KORNEGAY et al., 1997; OLIVEIRA et al., 2007), proporcionando um melhor aproveitamento do nitrogênio dietético e melhorando a conversão alimentar (PARK et al., 2009; PERES et al., 2014). Pode atuar também no aumento da porcentagem de músculo e diminuição da gordura da carcaça (MATTHEWS et al., 2003; MOONEY; CROMWELL, 1995) melhorando as características de carcaça (espessura de toucinho e área de olho de lombo e quantidade de carne) (LIEN et al., 2001; XI et al., 2001).

2.9 Suplementação com magnésio e sua influência sobre o desempenho, características de carcaça e a qualidade da carne suína

O magnésio (Mg) é um macromineral, citado como um importante cofator de mais de 300 enzimas (creatina quinase, piruvato carboxilase e piruvato oxidase, acil-CoA sintetase, acetil-CoA carboxilase, etc.), incluindo as fosfatases e enzimas que catalisam as reações envolvendo ATP. Dessa forma, contribui com o metabolismo de proteínas, carboidratos e gorduras. Ainda, tem papel na manutenção da integridade dos ossos e dentes, participa da regulação do equilíbrio ácido base, na contração muscular, manutenção da vida de células vermelhas, além de atuar no sistema imune (MCDOWELL, 2003).

Esse mineral atua também na redução da liberação de norepinefrina e epinefrina através do bloqueio dos canais de cálcio voltagem-dependente do tipo-N, nos terminais nervosos simpáticos periféricos (SHIMOSAWA et al., 2004) e por competir com o cálcio por carreadores nas membranas das células cromafins da medula da glândula adrenal (DOUGLAS; RUBIN, 1963), contribuindo então, com a diminuição da taxa de glicogenólise e interferindo no pH, evitando sua queda brusca e melhorando a qualidade da carne. D'Souza et al. (1998), reportaram que a suplementação para suínos com 15g de aspartato de magnésio por quilo de ração (equivalente a 1000 ppm de magnésio), durante cinco dias pré-abate, reduziu a concentração de noradrenalina, cortisol e ácido láctico no tecido muscular 40 minutos antes do abate, tendo efeito redutor do estresse na glicogenólise muscular.

Tarsitano et al. (2013), avaliando o efeito do óxido de magnésio (MgO) fornecido durante sete dias na fase de terminação, observaram também, uma redução nos níveis de cortisol à medida que se aumentou os níveis de Mg na dieta, o que poderia indicar um menor estresse antes do abate. Dessa forma, a suplementação com esse mineral pode ser uma alternativa na busca da melhoria

da qualidade da carne (SCHAEFER et al., 1993). Contudo, Humphreys, Carlson e Lorenzen (2009) não observaram mudanças de comportamento relacionadas ao estresse de suínos que haviam sido suplementados com sulfato de magnésio. Sendo assim, uma estratégia para melhorar a qualidade da carne seria o uso da suplementação de magnésio na dieta acima da necessidade, como forma de regular o sistema nervoso simpático antes do abate e reduzir efeitos relacionados ao estresse que podem ocasionar prejuízos na cadeia produtiva (D'SOUZA et al., 1999, 2000).

O magnésio possui também ação antagônica ao cálcio, promovendo relaxamento muscular esquelético e diminuindo o metabolismo do tecido (APPLE et al., 2000; BRIDI; SILVA, 2013; D'SOUZA et al., 1998). Outro efeito de seu uso é a redução do conteúdo de glicogênio muscular no *post mortem*, fazendo com que haja menor produção de ácido lático, contribuindo ainda mais para a manutenção do pH da carne mais alto, conseqüentemente diminuindo a perda de água e mantendo a estabilidade da cor (APPLE et al., 2000; MACHADO et al., 2008; TANG et al., 2009). Geesink et al. (2004) comparando o efeito da suplementação de Mg em animais com e sem período de descanso antes do abate, constataram que os animais do grupo controle que não foram submetidos ao período de descanso, apresentaram um aumento no valor de L* (carne mais pálida) comparados ao grupo sem descanso suplementados com Mg, sugerindo dessa forma que, o uso desse mineral pode auxiliar na prevenção de estresse relacionado à falta do período de descanso adequado sobre a cor da carne de suínos.

Ainda, pode reduzir a quantidade de tecido adiposo na carcaça por interromper a lipogênese de forma indireta, reduzindo dessa forma, as concentrações de ácidos graxos livres disponíveis para a biossíntese de lipídeos (APPLE et al., 2000).

2.10 Suplementação com Selênio e sua influência sobre o desempenho, características de carcaça e a qualidade da carne suína

O Selênio (Se) é considerado um micromineral essencial para os animais e para o homem. Ele tem papel fundamental em várias funções vitais no organismo (sistema reprodutivo e sistema imune principalmente) e por isso, é considerado um agente imunomodulador (SAAD, 2009). Está ligado à vitamina E e é fundamental na formação da enzima Glutathione Peroxidase (GSH-Px) que protege as membranas celulares da degeneração oxidativa. Essa vitamina, por ser um antioxidante natural solúvel em lipídios, funciona como uma primeira linha de defesa das membranas celulares e organelas contra a peroxidação. Contudo, mesmo em níveis adequados desta, alguns peróxidos são formados e o selênio atua então, como uma segunda linha de defesa, destruindo-os antes que haja algum dano nas membranas celulares. Além disso, atua na síntese de prostaglandinas e no metabolismo dos ácidos graxos essenciais; é componente de seleno-proteínas presentes no músculo cardíaco, tecido muscular (relacionada à atuação dos hormônios tireoidianos) e nos espermatozoides (BURK, 1989; KIELISZEK; BLAZEJAK, 2013).

A inclusão de selênio na dieta de suínos em crescimento/terminação é importante para aumentar sua quantidade em vários órgãos do corpo do animal, proporcionando maior fonte desse mineral na alimentação humana, bem como atuar na atividade da GSH-Px que tem função de prevenir a oxidação da membrana celular e, com isso, reduzir a perda de água da carne, melhorando a qualidade da mesma (MAHAN; CLINE; RICHERT, 1999; MATEO et al., 2007).

A deterioração oxidativa da carne traz perdas nos valores nutricionais e na qualidade (GUYON; MEYNIER; LAMBALLERIE, 2016; SKRIVAN et al., 2012). Com isso, o Se surge como alternativa para aumentar a estabilidade

oxidativa dos tecidos, sendo adicionado à dieta dos animais com o intuito de melhorar a qualidade da carne (MATEO et al., 2007), contudo são escassos os trabalhos que avaliaram a influência desse mineral na conservação da carne ao longo do tempo de armazenamento.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O melhoramento genético visando à obtenção de suínos mais eficientes e que originem carcaças com maior rendimento de carne em detrimento à gordura, acabou por reduzir indiretamente a qualidade da carne desses animais, levando a uma busca incessante por alternativas que proporcionem uma melhora em ambos, desempenho e qualidade.

Destaca-se o uso de minerais como o cromo, ferro, magnésio e selênio, como forma de alcançar esses objetivos. Contudo, ao se avaliar os dados encontrados na literatura a esse respeito, verifica-se que as respostas desses minerais sobre o desempenho de suínos, o aumento da deposição de carne magra e redução da quantidade de gordura da carcaça, bem como na melhoria dos atributos de qualidade da carne, principalmente em relação à melhora na coloração da mesma, são controversas. Apesar disso, observa-se uma redução na incidência de carnes PSE com o uso de magnésio, aumento na vermelhidão com o uso de ferro e magnésio e também melhora na exsudação com a adição de selênio. Observa-se ainda, aumento na quantidade desses nos tecidos, tornando a carne suína uma fonte de minerais para a alimentação humana.

Contudo, não foram encontrados trabalhos relacionados ao uso associado de ferro mais cromo e magnésio mais selênio, tampouco dos quatro juntos para suínos em terminação, o que incitou a realização deste estudo, a fim de se obter dados que mostrem seus efeitos em conjunto, com o intuito de melhorar não só o desempenho dos animais, como também os parâmetros de carcaça e qualidade de carne e, a partir de então, fornecer aos suinocultores, ferramentas adicionais na busca de animais e de carcaças com maior valor agregado, favorecendo, dessa forma, toda a cadeia suinícola desde o produtor até o consumidor final.

REFERÊNCIAS

- ABREU, R. C. et al. Perfil lipídico da carne e gordura de suínos alimentados com milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 1, p. 135–140, 2014.
- ALONSO, V. et al. Changes in physicochemical properties and fatty acid composition of pork following long-term frozen storage. **European Food Research and Technology**, Berlin, p. 1–9, 2016.
- ALVES, L. R. **Qualidade de carne suína: efeito do gene halotano sobre a deposição de gordura intramuscular: efeito da suplementação com minerais no pré-abate**. 2011. 122 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias-Produção Animal) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.
- AMOIKON, E. K. et al. Effect of chromium tripicolinate on growth, glucose tolerance, insulin sensitivity, plasma metabolites, and growth hormone in pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 73, n. 4, p. 1123-1130, 1995.
- ANDERSON, R. A. Chromium. In: MERTZ, W. (Ed.) **Trace elements in human and animal nutrition**. 5th ed. San Diego: Academic, 1987. 225 p.
- ANGERAMI, C. N. **Influência do genótipo, sexo e peso de abate na composição da carcaça e nas características de qualidade da carne suína**. 2004. 141 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.
- APPLE, J. K. et al. Effect of magnesium mica on performance and carcass quality of growing-finishing swine. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 78, n. 8, p. 2135-2143, 2000.
- APPLE, J. K. et al. Effect of supplemental iron on finishing swine performance, carcass characteristics, and pork quality during retail display. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 85, n. 3, p. 737-745, 2007.
- BAILEY, A. J.; SIMS, T. J. Chemistry of the collagen cross-links. **Biochemical Journal**, London, v. 153, p. 211–215, 1976.
- BENDALL, J. R.; SWATLAND, H. J. A review of the relationships of pH with physical aspects of pork quality. **Meat Science**, Barking, v. 24, n. 1988, p. 85–126, 1988.

BRAGAGNOLO, N.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Teores de colesterol, lipídios totais e ácidos graxos em cortes de carne suína. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 22, n. 1, p. 98–104, 2002.

BRIDI, A. M.; SILVA, C. A. Qualidade da carne suína e fatores que Influenciam. In: SIMPÓSIO BRASIL SUL DE SUINOCULTURA, 6., Chapecó. **Anais...** Chapecó: [s. n.], 2013. p. 1–17.

BURK, R. F. Recent developments in trace element metabolism and function: newer roles of selenium in nutrition. **The Journal of Nutrition**, Rockville, v. 119, n. 7, p. 1051–1054, 1989.

CAMPOS, D. I. **Desempenho, qualidade de carcaça e de carne em suínos Large White de linhagens distintas**. 2008. 101 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

D'SOUZA, D. N. et al. Comparison of different dietary magnesium supplements on pork quality. **Meat Science**, Barking, v. 51, n. 3, p. 221–225, 1999.

D'SOUZA, D. N. et al. The effect of dietary magnesium aspartate supplementation on pork quality. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 76, n. 1, p. 104–109, 1998.

D'SOUZA, D. N. et al. The influence of dietary magnesium supplement type, and supplementation dose and duration, on pork quality and the incidence of PSE pork. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 51, p. 185–189, 2000.

DEVOL, D. L. et al. Variation in composition and palatability traits and relationships between muscle characteristics and palatability in a random sample of pork carcasses. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 66, p. 385–395, 1988.

DOUGLAS, W. W.; RUBIN, R. P. The mechanism of catecholamine release from the adrenal medulla and the role of calcium in stimulus-secretion coupling. **The Journal of Physiology**, Cambridge, v. 167, n. 2, p. 288–310, 1963.

ENSER, M. et al. Fatty acid content and composition of English beef, lamb and pork at retail. **Meat Science**, Barking, v. 42, n. 4, p. 443–456, 1996.

FARIA, P. B. et al. Lipid profile and cholesterol of pork with the use of glycerin in feeding. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 67, n. 2, p. 535–546, 2015.

FORREST, J. C. et al. **Principles of meat science**. San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1975. 417 p.

GARRIDO, M. D. et al. Objective assessment of pork quality. **Meat Science**, Barking, v. 37, n. 3, p. 411–420, 1994.

GEESINK, G. H. et al. Short-term feeding strategies and pork quality. **Meat Science**, Barking, v. 67, p. 1–6, 2004.

GIRARD, I. et al. Contribution of myofibrillar and connective tissue components to the Warner-Bratzler shear force of cooked beef. **Meat Science**, Barking, v. 92, n. 4, p. 775–782, 2012.

GOMIDE, L. A. M.; RAMOS, E. M.; FONTES, P. R. **Ciência e qualidade da carne: fundamentos**. Viçosa, MG: UFV, 2013. 197 p.

GUYON, C.; MEYNIER, A.; LAMBALLERIE, M. Trends in Food science & technology protein and lipid oxidation in meat : a review with emphasis on high-pressure treatments. **Trends in Food Science & Technology**, Norwich, v. 50, p. 131–143, 2016.

HAAK, L. et al. 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**, Champaign, v. 86, n. 6, p. 1418–1425, 2008.

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

HAZELL, T. Iron and zinc compounds in the muscle meats of beef, lamb, pork and chicken. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 33, p. 1049–1056, 1982.

HOLMER, S. F. et al. The effect of pH on shelf-life of pork during aging and simulated retail display. **Meat Science**, Barking, v. 82, n. 1, p. 86–93, 2009.

HONIKEL, K. O. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. **Meat Science**, Barking, v. 49, n. 4, p. 447–457, 1998.

HUGHES, J. M. et al. A structural approach to understanding the interactions between colour, water-holding capacity and tenderness. **Meat Science**, Barking, v. 98, n. 3, p. 520–532, 2014.

HUMPHREYS, J. L.; CARLSON, M. S.; LORENZEN, C. L. Dietary supplementation of magnesium sulfate and sodium bicarbonate and its effect on pork quality during environmental stress. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 125, n. 1, p. 15–21, 2009.

JACKSON, A. R. et al. 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**, Champaign, v. 87, n. 12, p. 4032–4041, 2009.

JAKOBSEN, K. Dietary modifications of animal fats: status and future perspectives. **Fett-Lipid**, Leinfelden, v. 101, n. 12, p. 475–483, 1999.

KANNEL, W. B. et al. Serum cholesterol, lipoproteins, and the risk of coronary heart disease. **Annals of Internal Medicine**, Philadelphia, v. 74, n. 1, p. 1–12, 1971.

KAUFFMAN, R. G. et al. A comparison of methods to estimate water-holding capacity in post-rigor porcine muscle. **Meat Science**, Barking, v. 18, p. 307–322, 1986.

KIELISZEK, M.; BLAZEJAK, S. Selenium : Significance, and outlook for supplementation. **Nutrition**, Paris, v. 29, p. 713–718, 2013.

KORNEGAY, E. T. et al. Supplemental chromium picolinate influences nitrogen balance, dry matter digestibility, and carcass traits in growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 75, n. 5, p. 1319–1323, 1997.

KOUBA, M.; MOUROT, J. A review of nutritional effects on fat composition of animal products with special emphasis on n-3 polyunsaturated fatty acids. **Biochimie**, Paris, v. 93, n. 1, p. 13–17, 2011.

LAHUCKY, R. et al. The effect of dietary magnesium oxide supplementation on fatty acid composition, antioxidative capacity and meat quality of heterozygous and normal malignant hyperthermia (MH) pigs. **Archiv Fur Tierzucht-**

Archives of Animal Breeding, Dummerstorf, v. 47, n. July, p. 183–191, 2004.

LAWRIE, R. A. **Ciência da carne**. Tradução de Jane Maria Rubensam. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005. 384 p.

LI, Y. X. et al. Comparasion and correlation analysis of different swine breeds meat quality. **Asian Australasian Journal of Animal Sciences**, Champaign, v. 26, n. 7, p. 905–910, 2013.

LIEN, T. F. et al. Effect of supplemental levels of chromium picolinate on the growth performance, serum traits, carcass characteristics and lipid metabolism of growing- finishing pigs. **Animal Science**, Cambridge, v. 72, p. 289–296, 2001.

LISIAK, D. et al. Effect of selenium supplementation in pig feed on slaughter value and physicochemical and sensory characteristics of meat. **Annals of Animal Science**, Krakow, v. 14, n. 1, p. 213–222, 2014.

MACDOUGALL, D. B. Changes in colour of meat. **Food Chemistry**, London, v. 9, p. 75–88, 1982.

MACHADO, O. D. et al. Desempenho e qualidade da carne de suínos suplementados com magnésio e creatina no período pré-abate. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 11, p. 211–220, 2008.

MAGANHINI, M. B. et al. Carnes PSE (Pale, Soft, Exudative) e DFD (Dark, Firm, Dry) em lombo suíno numa linha de abate industrial. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v. 27, p. 69–72, 2007.

MAHAN, D. C.; CLINE, T. R.; RICHERT, B. Effects of dietary levels of selenium-enriched yeast and sodium selenite as selenium sources fed to growing-finishing pigs on performance, tissue selenium, serum glutathione peroxidase activity, carcass characteristics, and loin quality. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 77, n. 8, p. 2172-2179, 1999.

MANCINI, R. A.; HUNT, M. C. Current research in meat color. **Meat Science**, Barking, v. 71, p. 100–121, 2005.

MATEO, R. D. et al. Efficacy of dietary selenium sources on growth and carcass characteristics of growing-finishing pigs fed diets containing high endogenous selenium. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 85, n. 5, p. 1177-1183, 2007.

MATTHEWS, J. O. et al. Effect of chromium propionate and metabolizable energy on growth, carcass traits, and pork quality of growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 81, n. 1, p. 191-196, 2003.

MATTHEWS, J. O. et al. Effects of chromium propionate on growth, carcass traits, and pork quality of growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 84, p. 858–862, 2006.

MCDOWELL, L. R. **Minerals in animal and human nutrition**. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2003. 660p.

MERTZ, W. Chromium. History and nutritional importance. **Biological Trace Element Research**, Clifton, v. 32, n. 2, p. 3–8, 1992.

MERTZ, W. Chromium in human nutrition: a review. **The Journal of Nutrition**, Rockville, v. 123, p. 626–633, 1993.

MOONEY, K. W.; CROMWELL, G. L. Effects of dietary chromium picolinate supplementation on growth, carcass characteristics, and accretion rates of carcass tissues in growing-finishing swine. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 73, n. 11, p. 3351-3357, 1995.

NISTOR, E. et al. Nutrient Content of rabbit meat as compared to chicken, beef and pork meat. **Journal of Animal Production Advances**, Wilmington, v. 3, n. 4, p. 172-176, 2013.

O'SULLIVAN, M. et al. Sensory colour assessment of fresh meat from pigs supplemented with iron and vitamin E. **Meat Science**, Barking, v. 60, n. 3, p. 253–265, 2002.

OECKEL, M. VAN; WARNANTS, N.; BOUCQUÉ, C. Pork tenderness estimation by taste panel, Warner–Bratzler shear force and on-line methods. **Meat Science**, Barking, v. 53, p. 259–267, 1999.

OFFER, G.; TRINICK, J. On the mechanism of water holding in meat: The swelling and shrinking of myofibrils. **Meat Science**, Barking, v. 8, n. 4, p. 245–281, 1983.

OKADA, S.; SUZUKI, M.; OHBA, H. Enhancement of ribonucleic acid synthesis by chromium (III) in mouse liver. **Journal of Inorganic Biochemistry**, New York, v. 19, n. 2, p. 95–103, 1983.

- OLIVEIRA, V. et al. Efeito do picolinato de cromo na digestibilidade dos nutrientes e metabólitos sanguíneos de suínos. **Archivos de Zootecnia**, Cordoba, v. 56, n. 214, p. 137–143, 2007.
- PAGE, T. G. et al. Effect of chromium picolinate on growth and serum and carcass traits of growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 71, n. 3, p. 656–62, 1993.
- PARDI, M.C. et al. **Ciência, higiene e tecnologia da carne**. 2. ed. Goiânia: UFG, 2006. v. 1, 624 p.
- PARK, J. K. et al. Effects of different sources of dietary chromium on growth, blood profiles and carcass traits in growing-finishing pigs. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, Champaign, v. 22, n. 11, p. 1547–1554, 2009.
- PEREDA, J. A. O. **Tecnologia de alimentos**. Tradução de Fátima Murad. Porto Alegre: Artmed, 2005. 279 p.
- PERES, L. M. et al. Effect of supplementing finishing pigs with different sources of chromium on performance and meat quality. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 43, n. 7, p. 369–375, 2014.
- RAMOS, E. M.; GOMIDE, L. A. M. **Avaliação da qualidade de carnes: fundamentos e metodologias**. 2. ed. reimp. Viçosa, MG: UFV, 2012. 599 p.
- RISVIK, E. Sensory properties and preferences. **Meat Science**, Barking, v. 36, n. 1/2, p. 67–77, 1994.
- RÜBENSAM, J. M. Transformações post mortem e qualidade da carne suína. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL VIRTUAL SOBRE QUALIDADE DE CARNE SUÍNA, 1., 2000, Concórdia. **Anais...** Concórdia: [s. n.], 2000. p. 89–99.
- SAAD, M. B. **Efeito da suplementação de selênio orgânico na resposta imunológica de frangos de corte**. 2009. 54 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) - Universidade Federal do Paraná Curitiba, 2009.
- SARCINELLI, M. F.; VENTURINI, K. S.; SILVA, L. C. **Características da carne suína**. Vitória: UFES, 2007. 7 p. (Boletim Técnico).
- SAYRE, R. N.; BRISKEY, E. J.; HOEKSTRA, W. G. Comparison of muscle

characteristics and post-mortem glycolysis in three breeds of swine. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 22, n. 4, p. 1012–1020, 1963.

SCHAEFER, A. L. et al. The effect of ante mortem electrolyte therapy on animal physiology and meat quality in pigs segregating at the halothane gene. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 73, p. 231–240, 1993.

SEIDEMAN, S. C. et al. Factors associated with fresh meat color: a review. **Journal of Food Quality**, Westport, v. 6, p. 211–237, 1984.

SHIMOSAWA, T. et al. Magnesium inhibits norepinephrine release by blocking N-type calcium channels at peripheral sympathetic nerve endings. **Hypertension**, Dallas, v. 44, n. 6, p. 897–902, 2004.

SKRIVAN, M. et al. Influence of dietary vitamin C and selenium, alone and in combination, on the composition and oxidative stability of meat of broilers. **Food Chemistry**, London, v. 130, n. 3, p. 660–664, 2012.

SOMERS, C.; TARRANT, P. V.; SHERINGTON, J. Evaluation of some objective methods for measuring pork quality. **Meat Science**, Barking, v. 15, p. 63–76, 1985.

SWIGERT, K. S. et al. Effects of dietary vitamin D3, vitamin E, and magnesium supplementation on pork quality. **Meat Science**, Barking, v. 67, p. 81–86, 2004.

SWIZE, S. S. et al. Cholesterol content of lean and fat from beef, pork, and lamb cuts. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 5, n. 2, p. 160–167, 1992.

TANG, R. et al. Effects of supplemental magnesium aspartate and short-duration transportation on postmortem meat quality and gene expression of u-calpain and calpastatin of finishing pigs. **Livestock Science**, Foulum, v. 121, n. 1, p. 50–55, 2009.

TARSITANO, M. A. et al. Magnesium supplementation in swine finishing stage: performance, carcass characteristics and meat quality. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, p. 3105–3118, 2013.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Basic report 10020, pork , fresh, loin, whole, separable lean and fat, raw**. Disponível em: <<https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2499?>>. Acesso em: 22 jan. 2016.

WARRISS, P. D.; BROWN, S. N. The relationships between initial pH, reflectance and exudation in pig muscle. **Meat Science**, Barking, v. 20, p. 65–74, 1987.

XI, G. et al. Effect of chromium picolinate on growth performance, carcass characteristics, serum metabolites and metabolism of lipid in pigs. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, Seoul, v. 14, n. 2, p. 258–262, 2001.

YU, B.; HUANG, W. J.; CHIOU, P. W. S. Bioavailability of iron from amino acid complex in weanling pigs. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 86, n. 1/2, p. 39–52, 2000.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1

**EFEITO DA SUPLEMENTAÇÃO DE SUÍNOS EM
TERMINAÇÃO COM DIFERENTES ASSOCIAÇÕES ENTRE
MINERAIS SOBRE O DESEMPENHO, CARACTERÍSTICAS DE
CARÇA E VIABILIDADE ECONÔMICA**

Artigo elaborado segundo as normas da revista Ciência Rural

1 **Efeito da suplementação de suínos em terminação com diferentes**
2 **associações entre minerais sobre o desempenho, características de**
3 **carcaça e viabilidade econômica**

4

5 **Effect of supplementation of finishing swines with different**
6 **associations between minerals on performance, carcass**
7 **characteristics and economic viability**

8

9 **RESUMO**

10 Objetivou-se, com este estudo, verificar a influência da
11 suplementação com diferentes associações entre minerais orgânicos sobre
12 o desempenho, características de carcaça e viabilidade econômica, para
13 suínos em terminação. O delineamento experimental foi em blocos
14 casualizados com quatro tratamentos: controle com dieta basal e
15 suplementação com CrFe, MgSe e CrFeMgSe, durante os 28 dias que
16 antecederam o abate. Os animais suplementados com CrFeMgSe
17 apresentaram piores índices de peso final, ganho de peso diário e
18 consumo durante todo o período, com conseqüente redução no peso de
19 carcaça, menor profundidade de lombo, área de olho de lombo e

20 quantidade de carne magra na carcaça. Houve um aumento de 23, 26 e
21 31% no custo operacional efetivo da dieta para os grupos CrFe, MgSe e
22 CrFeMgSe, respectivamente e, aumento de 13 e 36% no custo alimentar
23 por quilograma de ganho de peso para MgSe e CrFeMgSe,
24 respectivamente. O uso dos minerais, associados dois a dois, não alterou
25 os parâmetros de desempenho e características de carcaça, podendo ser
26 uma alternativa na busca de melhor qualidade de carne. A associação dos
27 quatro minerais promoveu piora no desempenho e nas características de
28 carcaça e aumento no custo de produção, devendo seu uso, ser analisado
29 sob outros aspectos.

30 **Palavras-chave:** Custo de produção, nutrição, suinocultura.

31

32 **ABSTRACT**

33 This study aimed to verify the influence of supplementation with
34 different associations between organic minerals on performance, carcass
35 characteristics and economic viability for finishing swines. The
36 experimental design was randomized blocks with four treatments: control
37 with basal diet and supplementation with CrFe, MgSe and CrFeMgSe,
38 during the 28 days prior to slaughter. The animals supplemented with

39 CrFeMgSe had worse final weight, daily weight gain and consumption
40 throughout the period, with consequent reduction in carcass weight, lower
41 loin depth, loin eye area and amount of lean meat. There was an increase
42 of 23, 26 and 31% in the effective operational cost of diet to CrFe, MgSe
43 and CrFeMgSe groups, respectively, and increase of 13 and 36% in the
44 feed cost per kilogram of weight gain for MgSe and CrFeMgSe,
45 respectively. The use of minerals, associated two by two, did not alter the
46 performance parameters and carcass characteristics, and may be an
47 alternative in the search for better quality meat. However, the four
48 mineral association promoted a worsening in performance and carcass
49 characteristics with consequent increase in the cost of production and
50 should their use be analyzed in other ways.

51 **Key words:** Nutrition, pig farming, production cost.

52

53 **INTRODUÇÃO**

54 A cadeia suinícola busca, a cada dia, maior produtividade e
55 melhor qualidade da carne. Desta forma, precisa lançar mão de
56 alternativas que possibilitem a produção de carcaças que apresentem
57 maior rendimento de carne e menores quantidades de gordura,

58 favorecendo, ainda, maior desempenho dos animais (PERES et al., 2014).
59 Neste sentido, alguns minerais agem como repartidores de nutrientes
60 sendo que o cromo, o magnésio e o selênio tem demonstrado atuar
61 positivamente no desempenho de suínos, melhorando o ganho de peso,
62 conversão alimentar dos animais, a quantidade de carne magra e
63 reduzindo a espessura de gordura da carcaça (JANG et al., 2010;
64 TARSITANO et al., 2013; PERES et al., 2014). Em relação ao ferro, são
65 poucos os trabalhos que avaliaram seu efeito no desempenho e
66 características de carcaça de suínos em terminação, apesar de ter sido
67 verificado uma melhora na coloração da carne quando do seu uso
68 (MILLER et al., 1994; APPLE et al., 2007). Assim, qualquer que seja a
69 estratégia utilizada para este fim, deve proporcionar maior rentabilidade
70 no empreendimento, sem no entanto, onerar demasiadamente o custo de
71 produção.

72 De forma geral, os efeitos da suplementação com estes minerais
73 foram estudados de forma isolada e muitos, avaliando fontes inorgânicas
74 que tem menor biodisponibilidade, não sendo encontradas informações
75 referentes ao uso conjunto para suínos e nem mesmo sobre a viabilidade
76 econômica da sua utilização. Sendo assim, objetivou-se, com este estudo,

77 verificar a influência da suplementação com diferentes associações de
78 minerais orgânicos sobre o desempenho, características de carcaça e
79 viabilidade econômica, para suínos em terminação.

80

81 **MATERIAL E MÉTODOS**

82 Foram utilizados 88 suínos machos castrados (cruzamento de
83 fêmeas DanBred - DB90 x machos PIC - AGPIC337), com peso inicial de
84 $81,6 \pm 5,22$ kg, alojados em galpão de terminação, com baias de piso
85 concretado (2,3 x 1,5 m), dotados de comedouros semiautomáticos e
86 bebedouros do tipo chupeta. O período experimental total foi de 28 dias,
87 durante a terminação.

88 O delineamento experimental foi em blocos completos
89 casualizados (DBC), considerando o peso vivo como variável de
90 blocagem, com quatro tratamentos e 11 repetições, sendo a parcela
91 experimental representada por um animal, totalizando 88 animais. Os
92 suínos foram divididos em quatro grupos recebendo os seguintes
93 tratamentos: 1) Controle: dieta basal sem suplementação adicional de
94 minerais durante 28 dias; 2) CrFe: dieta basal + 400 ppb de cromo e 100
95 ppm de ferro durante 28 dias; 3) MgSe: dieta basal durante 28 dias + 300

96 ppm de magnésio e 3 ppm de selênio nos últimos sete dias antes do abate;
97 4) CrFeMgSe: dieta basal + 400 ppb de cromo e 100 ppm de ferro durante
98 28 dias + 300 ppm de magnésio e 3 ppm de selênio nos últimos sete dias
99 antes do abate. Os minerais fornecidos foram todos de fonte orgânica
100 (Biometal[®], NPA - Núcleo de Pesquisas Aplicadas Ltda, Brasil).

101 As dietas experimentais (Tabela 1) foram formuladas para atender
102 as exigências mínimas de suínos em terminação (ROSTAGNO, 2011) e
103 suplementadas de acordo com os tratamentos citados acima, sendo os
104 minerais incluídos em substituição ao caulim. Foi fornecida dieta e água
105 *ad libitum* diariamente e realizada a pesagem dos resíduos para a
106 estimativa do consumo diário. Os animais foram pesados no início e ao
107 final do experimento para a determinação do ganho de peso diário e
108 conversão alimentar no período. Ao final do experimento, eles foram
109 encaminhados para abatedouro frigorífico comercial sendo abatidos, após
110 12 horas de descanso e jejum de alimentos sólidos.

111 Após o abate, foi mensurado o peso de carcaça quente (PCQ)
112 sendo as carcaças posteriormente destinadas à câmara fria, onde
113 permaneceram por 24 horas. Mensurou-se, então, o peso de carcaça fria
114 (PCF), comprimento de carcaça (CC), espessura de toucinho (ET),

115 profundidade de lombo (PL), área de olho de lombo (AOL) e área de
116 gordura avaliados na altura da última costela torácica no músculo
117 *Longissimus thoracis* (LT), segundo BRIDI & SILVA (2009). O
118 rendimento (%) e quantidade (kg) de carne foram calculados de acordo
119 com as equações propostas por GUIDONI (2001).

120 Visando analisar a viabilidade econômica da suplementação
121 mineral, realizou-se a estimativa do custo operacional efetivo da dieta,
122 custo alimentar diário e custo por quilograma de ganho de peso, conforme
123 metodologias de LOPES et al. (2012). Realizou-se o cálculo de índice de
124 bonificação e receita bruta segundo GUIDONI (2001).

125 Na análise estatística, todas as variáveis mensuradas foram
126 testadas para normalidade pelo teste Shapiro-Wilk e aquelas que não
127 apresentaram distribuição normal foram transformadas utilizando a opção
128 NORMAL do PROC RANK do SAS (SAS 9.3 Intit. Inc., Cary, NC).
129 Todos os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA),
130 sendo aquelas variáveis que apresentaram diferenças significativas, a um
131 nível de significância de 5% de probabilidade, submetidas ao teste de
132 médias Tukey.

133

134 RESULTADOS E DISCUSSÃO

135 Os animais suplementados com CrFeMgSe apresentaram redução
136 no peso final ($P = 0,003$) e ganho de peso diário ($P = 0,002$) em relação
137 ao grupo controle. O uso de CrFe não diferiu do grupo com os quatro
138 minerais e o grupo MgSe apresentou ganho intermediário aos demais
139 (Tabela 2). A suplementação com CrFeMgSe proporcionou redução de
140 10% no consumo da dieta durante todo o período experimental ($P =$
141 $0,027$), comparado ao grupo controle. Este comportamento ocorreu
142 quando se adicionou magnésio e selênio à dieta, fato observado ao se
143 analisar o consumo do dia 22 ao dia 28 do experimento, havendo queda
144 de 27 e 32% no consumo ($P = 0,001$) dos grupos MgSe e CrFeMgSe em
145 relação ao grupo controle. O grupo suplementado com a associação dos
146 quatro minerais apresentou, ainda, menor eficiência alimentar ($P = 0,001$)
147 (Tabela 2).

148 No presente estudo, a suplementação com selênio foi realizada a
149 partir de fonte orgânica, durante sete dias antes do abate e com uma
150 dosagem de 3 ppm. Contudo, pôde-se observar (Tabela 2) que o consumo
151 da dieta dos grupos tratados com este mineral apresentou uma redução, o
152 que pode ter sido causado pela dosagem mais elevada. Há relatos na

153 literatura de queda linear do consumo e ganho de peso de suínos
154 suplementados com altas doses de selênio (4 a 20 ppm), sendo este efeito
155 mais pronunciado quando do uso de fonte inorgânica (GOEHRING et al.,
156 1984; KIM & MAHAN, 2001).

157 O uso de cromo e ferro isoladamente não demonstra efeitos sobre
158 as características de desempenho de suínos em terminação (MATTHEWS
159 et al., 2003; APPLE et al., 2007). O magnésio fornecido durante cinco
160 dias antes do abate também não revelou efeito no ganho de peso e
161 conversão alimentar dos animais (HAMILTON et al., 2002), assim como
162 o selênio não se mostrou eficiente em melhorar o desempenho de suínos
163 (MATEO et al., 2007). Resultados semelhantes aos obtidos no presente
164 estudo, quando utilizados de forma associada.

165 Para o tratamento com CrFeMgSe, houve redução de
166 aproximadamente 5% no peso de carcaça quente (PCQ) ($P = 0,008$) e fria
167 (PCF) ($P = 0,008$) em relação ao grupo controle, sendo que os grupos
168 CrFe e MgSe apresentaram resultados semelhantes aos demais (Tabela 2).
169 Houve também redução de 7% na profundidade de lombo (PL) ($P =$
170 $0,007$), 6% na área de olho de lombo (AOL) ($P = 0,021$) e 4% na
171 quantidade de carne (kg) ($P = 0,005$) para CrFeMgSe comparado ao

172 grupo controle. Observou-se aumento de 2,3% na AOL (P = 0,021) para
173 o grupo CrFe em relação ao controle, apesar de não ter havido diferença
174 estatística entre eles. Tal resultado, que está de acordo com estudos
175 reportando o uso de cromo (XI et al., 2001), possivelmente, deveu-se ao
176 fato deste mineral potencializar a captação de glicose pela célula
177 (EVANS & BOWMAN, 1992) e atuar na incorporação e utilização de
178 aminoácidos, síntese proteica e de RNA (OKADA et al., 1983). Estudos
179 tem demonstrado que este mineral é constituinte de um oligopeptídeo
180 chamado cromodulina, que tem por função manter a conformação ativa
181 dos receptores de insulina por meio da ativação da proteína tirosina
182 quinase (VINCENT, 2000), amplificando os sinais da insulina nas
183 células, com consequente estímulo da translocação de GLUT4,
184 aumentando a captação de glicose e aminoácidos, favorecendo a síntese
185 proteica (KREIDER, 1999).

186 Os parâmetros de rendimento e comprimento de carcaça, área de
187 gordura, espessura de toucinho e rendimento de carne magra, não foram
188 influenciados pelo uso da suplementação mineral nas dietas (P > 0,05)
189 (Tabela 2). A utilização de cromo, ferro, magnésio e selênio, de forma
190 isolada na dieta, não têm revelado efeito sobre a quantidade de carne

191 magra e PCQ e AOL (MAHAN et al., 1999; O'SULLIVAN et al., 2002;
192 MACHADO et al., 2008; PERES et al., 2014). No presente estudo,
193 todavia, a associação de CrFeMgSe influenciaram de forma negativa estes
194 parâmetros e a redução observada nos valores de PCQ, PCF, AOL e
195 quantidade de carne magra para este grupo foi relacionada ao menor peso
196 de abate.

197 O custo operacional efetivo (COE) das dietas CrFe, MgSe e
198 CrFeMgSe apresentou, respectivamente, aumento de 23%, 26% e 31%,
199 em relação a dieta basal (Tabela 3). Houve uma redução no COE diário
200 do dia 21 a 28 ($P = 0,001$) das dietas MgSe e CrFeMgSe comparado ao
201 grupo controle, devido a redução no consumo ($P = 0,001$) observada para
202 estes grupos nos últimos sete dias do experimento. Ainda, CrFeMgSe
203 apresentou aumento de 20% no COE por quilograma de ganho de peso (P
204 $= 0,003$), em relação ao grupo controle, devido ao fato dos animais deste
205 grupo terem apresentado, além de maior COE da dieta, piores índices de
206 conversão e eficiência alimentar.

207 O índice de bonificação foi maior para CrFe e menor para
208 CrFeMgSe ($P = 0,034$). Os grupos controle e MgSe apresentaram médias
209 intermediárias aos demais. O menor peso de carcaça, apresentado pelo

210 grupo CrFeMgSe, em relação ao grupo controle, impactou negativamente
211 (7,1%) no preço pago ao produtor pela carcaça (P = 0,001) (Tabela 3).

212 Como as características de desempenho e carcaça dos animais que
213 receberam cromo mais ferro e magnésio mais selênio, associados dois a
214 dois, não foram negativamente afetadas em relação ao grupo controle, o
215 seu uso demonstra ser uma alternativa economicamente viável na
216 terminação de suínos, pela possibilidade de melhorias na qualidade da
217 carne e, também, diminuição da incidência de carnes PSE (D'SOUZA et
218 al., 2000; APPLE et al., 2007; TARSITANO et al., 2013; PERES et al.,
219 2014; CALVO et al., 2016). Em contrapartida, o uso associado dos quatro
220 minerais, além de reduzir o desempenho e os parâmetros de carcaça,
221 aumentou os COE da dieta e diminuiu a receita. Visto que 70 a 80% do
222 custo total de produção de suínos corresponde à alimentação (ABCS,
223 2014), a viabilidade para o seu uso somente estaria condicionado a um
224 pagamento diferenciado por este produto, principalmente em relação a
225 possíveis benefícios para a qualidade da carne.

226

227 **CONCLUSÃO**

228 O uso dos minerais associados, dois a dois, não altera os
229 parâmetros de desempenho e características de carcaça, podendo ser uma
230 alternativa na busca de melhor qualidade de carne. Contudo, a associação
231 dos quatro minerais piora o desempenho, resultando em carcaças mais
232 leves e com menor quantidade de carne, com consequente aumento no
233 custo operacional efetivo. Entretanto, mais estudos são necessários
234 relacionados à utilização associada destes minerais, em busca de maiores
235 esclarecimentos a respeito da sua ação conjunta.

236

237 **APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA E BIOSSEGURIDADE**

238 Todos os procedimentos realizados neste estudo foram aprovados
239 pelo Comitê de Ética de Uso de Animais da Universidade Federal de
240 Lavras, protocolo n. 008/2015.

241

242 **REFERÊNCIAS**

243 ABCS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE SUÍNOS.

244 **Produção de suínos: teoria e prática.** Brasília: ABCS, 2014. 908p.

245 APPLE, J. K. et al. Effect of supplemental iron on finishing swine

246 performance, carcass characteristics, and pork quality during retail

247 display. **Journal of Animal Science**, v. 85, n. 3, p. 737-745, 2007.

248 Disponível em:

249 <<https://www.animalsciencepublications.org/publications/jas/abstracts/85>

250 /3/0850737>. Acesso em 20 jan. 2015. doi: 10.2527/jas.2006-231.

251 BRIDI, A. M.; SILVA, C. A. **Avaliação da Carne Suína**. Londrina:

252 Midiograf, 2009. 97p.

253 CALVO, L. et al. Effect of dietary organic selenium on muscle

254 proteolytic activity and water-holding capacity in pork. **Meat Science**, v.

255 121, p. 1–11, 2016. Disponível em:

256 <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0309174016301437>>.

257 Acesso em: 16 ago. 2016. doi: 10.1016/j.meatsci.2016.05.006.

258 D'SOUZA, D. N. et al. The influence of dietary magnesium supplement

259 type, and supplementation dose and duration, on pork quality and the

260 incidence of PSE pork. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.

261 51, p. 185–189, 2000. Disponível em:

262 <<http://www.publish.csiro.au/journals/abstractHTML.cfm?J=AR&V=51>

263 &I=2&F=AR99090abs.XML>. Acesso em: 27 ago. 2015. doi:

264 10.1071/AR99090.

265 EVANS, G. W.; BOWMAN, T. D. Chromium picolinate increases

266 membrane fluidity and rate of insulin internalization. **Journal of**
267 **Inorganic Biochemistry**, v. 46, n. 4, p. 243–250, 1992. Disponível em:
268 <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/016201349280034S>>. Acesso
269 em: 23 fev. 2015. doi: 10.1016/0162-0134(92)80034-S.

270 GOEHRING, T. B. et al. Toxic Effects of Selenium on Growing Swine
271 Fed Corn-Soybean Meal Diets. **Journal of Animal Science**, v. 59, n. 3, p.
272 733-737, 1984. Disponível em:
273 <<https://www.animalsciencepublications.org/publications/jas/abstracts/59>
274 /3/JAN0590030733>. Acesso em 29 ago. 2016. doi:
275 10.2527/jas1984.593733x.

276 GUIDONI, A. L. Melhoria de processos para a tipificação e valorização
277 de carcaças suínas no Brasil. In: I Conferência Internacional Virtual sobre
278 Qualidade de Carne Suína, 2000, Concórdia, SC. **Anais...** Concórdia:
279 Embrapa Suínos e Aves, 2001. v. 1. 253p. p.221–234. Concórdia, SC.

280 HAMILTON, D. N. et al. The impact of longissimus glycolytic potential
281 and short-term feeding of magnesium sulfate heptahydrate prior to
282 slaughter on carcass characteristics and pork quality. **Journal of Animal**
283 **Science**, v. 80, n. 6, p. 1586–1592, 2002. Disponível em:
284 <<https://www.animalsciencepublications.org/publications/jas/abstracts/80>

- 285 /6/1586>. Acesso em: 20 jan. 2015. doi: 10.2527/2002.8061586x.
- 286 JANG, Y. D. et al. Comparison of Bioavailability of Organic Selenium
287 Sources in Finishing Pigs. **Asian-Australasian Journal of Animal**
288 **Sciences**, v. 23, n. 7, p. 931–936, 2010. Disponível em:
289 <<http://ajas.info/journal/view.php?doi=10.5713/ajas.2010.90619>>.
290 Acesso em 24 ago. 2016. doi: 10.5713/ajas.2010.90619.
- 291 KIM, Y. Y.; MAHAN, D. C. Comparative effects of high dietary levels of
292 organic and inorganic selenium on selenium toxicity of growing-finishing
293 pigs. **Journal of Animal Science**, v. 79, n. 4, p. 942-948, 2001.
294 Disponível em:
295 <<https://www.animalsciencepublications.org/publications/jas/abstracts/79>
296 /4/942>. Acesso em 29 ago. 2016. doi: 10.2527/2001.794942x.
- 297 KREIDER, R. B. Dietary supplements and the promotion of muscle
298 growth with resistance exercise. **Sports Medicine**, v. 27, n. 2, p. 97–110,
299 1999. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10091274>>.
300 Acesso em: 29 ago. 2016. doi: 10.2165/00007256-199927020-00003.
- 301 LOPES, M. A. et al. Economic viability of feeding dairy cows on diets
302 containing different levels of soybean oil. **Revista Brasileira de**
303 **Zootecnia**, v. 41, n. 9, p. 2085–2091, 2012. Disponível em:

304 <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-
305 [35982012000900017&lng=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982012000900017&lng=en&nrm=iso&tlng=en)>. Acesso em 24 ago.
306 2016. doi: 10.1590/S1516-35982012000900017.

307 MACHADO, O. D. et al. Desempenho e qualidade da carne de suínos
308 suplementados com magnésio e creatina no período pré-abate. **Brazilian**
309 **Journal of Food Technology**, v. 11, n. 3, p. 211–220, 2008. Disponível
310 em: <<http://bjft.ital.sp.gov.br/artigos/html/busca/PDF/v11n3a6907a.pdf>>.
311 Acesso em 04 dez. 2014.

312 MAHAN, D. C. et al. Effects of dietary levels of selenium-enriched yeast
313 and sodium selenite as selenium sources fed to growing-finishing pigs on
314 performance, tissue selenium, serum glutathione peroxidase activity,
315 carcass characteristics, and loin quality. **Journal of Animal Science**, v.
316 77, n. 8, p. 2172-2179, 1999. Disponível em:
317 <<https://www.animalsciencepublications.org/publications/jas/abstracts/77>
318 [/8/2172](https://www.animalsciencepublications.org/publications/jas/abstracts/77/8/2172)>. Acesso em: 20 jan. 2015. doi: 10.2527/1999.7782172x.

319 MATEO, R. D. et al. Efficacy of dietary selenium sources on growth and
320 carcass characteristics of growing-finishing pigs fed diets containing high
321 endogenous selenium. **Journal of Animal Science**, v. 85, n. 5, p. 1177-
322 1183, 2007. Disponível em:

323 <<https://www.animalsciencepublications.org/publications/jas/abstracts/85>
324 /5/0851177>. Acesso em: 20 jan. 2015. doi: 10.2527/jas.2006-067.

325 MATTHEWS, J. O. et al. Effect of chromium propionate and
326 metabolizable energy on growth, carcass traits, and pork quality of
327 growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 81, n. 1, p. 191-
328 196, 2003. Disponível em:

329 <<https://www.animalsciencepublications.org/publications/jas/abstracts/81>
330 /1/191>. Acesso em 20 jan. 2015. doi: 10.2527/2003.811191x.

331 MILLER, D. K. et al. Lipid oxidation and warmed-over aroma in cooked
332 ground pork from swine fed increasing levels of iron. **Journal of Food**
333 **Science**, v. 59, n. 4, p. 751–756, 1994. Disponível em:

334 <<http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2621.1994.tb08119.x>>. Acesso em:
335 11 out. 2016. doi: 10.1111/j.1365-2621.1994.tb08119.x.

336 O’SULLIVAN, M. et al. Sensory colour assessment of fresh meat from
337 pigs supplemented with iron and vitamin E. **Meat Science**, v. 60, n. 3, p.
338 253–265, 2002. Disponível em:

339 <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0309174001001310>>.

340 Acesso em: 01 mar. 2015. doi: 10.1016/S0309-1740(01)00131-0.

341 OKADA, S. et al. Enhancement of ribonucleic acid synthesis by

- 342 chromium(III) in mouse liver. **Journal of Inorganic Biochemistry**, v.
343 19, n. 2, p. 95–103, 1983. Disponível em:
344 <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0162013483850156>>. Acesso
345 em: 28 ago. 2016. doi: 10.1016/0162-0134(83)85015-6.
- 346 PERES, L. M. et al. Effect of supplementing finishing pigs with different
347 sources of chromium on performance and meat quality. **Revista**
348 **Brasileira de Zootecnia**, v. 43, n. 7, p. 369–375, 2014. Disponível em:
349 <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982014000700369&lng=en&nrm=iso&tlng=en)
350 [35982014000700369&lng=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982014000700369&lng=en&nrm=iso&tlng=en)>. Acesso em: 23 fev.
351 2015. doi: 10.1590/S1516-35982014000700005.
- 352 ROSTAGNO, H. S. **Tabelas brasileiras para aves e suínos:**
353 **composição de alimentos e exigências nutricionais**. Viçosa:
354 Universidade Federal de Viçosa, 2011. 252p.
- 355 TARSITANO, M. A. et al. Magnesium supplementation in swine
356 finishing stage: performance, carcass characteristics and meat quality.
357 **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 3105–3118, 2013. Disponível
358 em:
359 <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/13615>
360 >. Acesso em: 25 fev. 2015. doi: 10.5433/1679-0359.2013v34n6p3105.

- 361 VINCENT, J. B. The Biochemistry of Chromium. **The Journal of**
362 **Nutrition**, v. 130, n. 4, p. 715–718, 2000. Disponível em:
363 <<http://jn.nutrition.org/content/130/4/715.short>>. Acesso em: 29 ago.
364 2016.
- 365 XI, G. et al. Effect of Chromium Picolinate on Growth Performance,
366 Carcass Characteristics, Serum Metabolites and Metabolism of Lipid in
367 Pigs. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 14, n. 2, p.
368 258–262, 2001. Disponível em:
369 <<http://ajas.info/journal/view.php?doi=10.5713/ajas.2001.258>>. Acesso
370 em: 23 fev. 2015. doi: 10.5713/ajas.2001.258.
- 371

372 Tabela 1 Composição da dieta basal fornecida aos suínos durante o
373 período de terminação

Ingredientes	Dieta basal (kg)
Milho	75,70
Farelo de soja	20,00
Óleo de soja	1,00
Fosfato Bicálcico	0,77
Calcário	0,56
Sal	0,35
Premix Mineral ¹	0,18
Premix Vitamínico ²	0,30
L- Lisina 50,7%	0,47
DL- Metionina 99%	0,09
L- Treonina 98%	0,10
Ractopamina	0,05
Caulim/Suplementação Minerais ³	0,45
TOTAL	100,00
Valores nutricionais estimados ⁴	
Proteína bruta (%)	15,01
Energia metabolizável (kcal/kg)	3240
Cálcio (%)	0,47
Fósforo disponível (%)	0,23
Lisina digestível (%)	0,88
Metionina digestível (%)	0,31
Metionina + Cistina (%)	0,54

374 ¹Composição por kg de produto: cobalto, 299,7 mg; cobre, 9.000 mg;
375 ferro, 48 g; iodo, 659,7 mg; manganês, 21 g; zinco, 78,3 g; selênio
376 240,3 mg; ²Composição por kg de produto: ácido fólico, 144 mg;
377 ácido pantotênico, 2.160 mg; biotina, 21,60 mg; niacina, 3.960 mg;
378 colina, 36,02 g; Vit. A, 1.440.000 U.I.; Vit. B1, 288 mg; Vit. B12
379 3.960 mcg; Vit. B2, 720 mg; Vit. B6, 540 mg; Vit. D3, 540.000 U.I.;
380 Vit. E 7.200 U.I.; Vit. K3, 540 mg.

381 ³Quantidade de produto adicionado em substituição ao caulim para
382 cada tratamento: CrFe: 3,4 mg/kg de Cromo Biometal[®] e 612,4
383 mg/kg de Ferro Biometal[®]; MgSe: 3215,4 mg/kg de Magnésio
384 Biometal[®] e 306,1 mg/kg de Selênio Biometal[®]; CrFeMgSe: 3,4
385 mg/kg de Cromo Biometal[®], 612,4 mg/kg de Ferro Biometal[®],

386 3215,4 mg/kg de Magnésio Biometal[®] e 306,1 mg/kg de Selênio
387 Biometal[®].
388 Quantidade de minerais por kg da dieta nos tratamentos: Controle:
389 86,4 mg/kg de ferro e 0,43 mg/kg de selênio; CrFe: 0,4 mg/kg de
390 cromo, 186,4 mg/kg de ferro e 0,43 mg/kg de selênio; MgSe: 86,4
391 mg/kg de ferro e 3,43 mg/kg de selênio; CrFeMgSe: 0,4 mg/kg de
392 cromo, 186,4 mg/kg de ferro, 300 mg/kg de magnésio e 3,43 mg/kg
393 de selênio.
394 Cromo Biometal[®]: picolinato de cromo (11,68% de Cr); Ferro
395 Biometal[®]: 16,33% de Fe; Magnésio Biometal[®]: bisglicinato de
396 magnésio (9,33% de Mg); Selênio Biometal[®]: glicinato de selênio
397 (0,98% de Se);

398
399

Tabela 2 Médias de desempenho, características de carcaça e custo da ração de suínos em terminação, suplementados com diferentes associações entre minerais

Parâmetros	Dieta				CV (%)	EPM	Valor p
	Controle ¹	CrFe ²	MgSe ³	CrFeMgSe ⁴			
PI (kg)	78,86	78,93	79,05	78,88	6,66	1,64	0,578
PF (kg)	114,82 ^a	113,55 ^a	110,46 ^{ab}	107,65 ^b	7,71	2,54	0,003
GPD (kg)	1,28 ^a	1,24 ^a	1,12 ^{ab}	1,03 ^b	16,10	0,05	0,002
CDT (kg)	3,21 ^a	3,10 ^{ab}	2,97 ^{ab}	2,89 ^b	12,55	0,11	0,027
CD1 (kg)	3,28	3,13	3,23	3,17	11,75	0,12	0,525
CD2 (kg)	3,01 ^a	3,01 ^a	2,19 ^b	2,06 ^b	26,30	0,16	0,001
CA (kg)	2,51 ^b	2,51 ^b	2,67 ^{ab}	2,88 ^a	10,43	0,07	0,002
EA	0,40 ^a	0,40 ^a	0,38 ^{ab}	0,35 ^b	9,41	0,01	0,001
PCQ (kg)	90,88 ^a	90,11 ^{ab}	87,63 ^{ab}	86,72 ^b	8,42	2,05	0,008
PCF (kg)	89,06 ^a	88,31 ^{ab}	85,88 ^{ab}	84,98 ^b	8,42	2,01	0,008
RCQ (%)	79,12	79,35	79,63	80,65	2,68	0,45	0,086
CC (cm)	101,64	101,82	100,20	101,27	3,59	0,87	0,349
PL (mm)	65,17 ^a	66,34 ^a	64,22 ^{ab}	60,66 ^b	9,07	1,18	0,007
ÁOL (cm ²)	49,23 ^{ab}	50,34 ^a	47,41 ^{ab}	46,46 ^b	11,09	1,16	0,021
AG (cm ²)	17,09	16,06	15,54	20,43	55,45	2,04	0,293
ET (mm)	15,41	13,69	14,04	14,69	24,45	0,78	0,367
RCM (%)	51,97	52,97	52,88	52,76	4,17	0,49	0,387
QCM (kg)	51,43 ^a	51,94 ^a	50,34 ^{ab}	49,33 ^b	7,42	0,99	0,005

400
401
402

¹Controle: dieta basal; ²CrFe: dieta basal + 400 ppb de cromo e 100 ppm de ferro; ³MgSe: dieta basal + 300 ppm de magnésio e 3 ppm de selênio; ⁴CrFeMgSe: dieta basal + 400 ppb de cromo, 100 ppm de ferro, 300 ppm de magnésio e 3 ppm de selênio; PI: peso inicial; PF:

403 peso final; GPD: ganho de peso diário; CDT: consumo diário total do dia 0 a 28; CD1:
404 consumo diário do dia 0 a 21; CD2: consumo diário do dia 22 a 28; CA: conversão
405 alimentar; EA: eficiência alimentar; PQC: peso de carcaça quente; PCF: peso de carcaça
406 fria; RCQ: rendimento de carcaça quente; CC: comprimento de carcaça; PL: profundidade
407 de lombo; AOL: área de olho de lombo; AG: área de gordura; ET: espessura de toucinho;
408 RCM: rendimento de carne magra; QCM: quantidade de carne magra; ^{ab}Médias seguidas de
409 mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente ao nível de significância de 5% de
410 probabilidade pelo teste Tukey.
411

412
413

Tabela 3 Custo operacional efetivo da dieta, custo alimentar por dia e por kg de ganho de peso de suínos em terminação, suplementados com diferentes associações de minerais

Parâmetros	Dietas				CV (%)	EPM	Valor p
	Controle ¹	CrFe ²	MgSe ³	CrFeMgSe ⁴			
CR (R\$/kg)	1,06	1,30	1,34	1,39	-	-	-
CRD1 (R\$)	3,47	3,31	3,26	3,41	13,98	0,14	0,570
CRD2 (R\$)	3,18 ^a	3,19 ^a	2,17 ^b	2,14 ^b	27,15	0,16	0,001
CRT (R\$)	3,40	3,28	2,99	3,09	14,43	0,13	0,061
CGP (R\$)	2,68 ^b	2,69 ^b	2,73 ^{ab}	3,23 ^a	16,98	0,13	0,003
IB ⁵	107,44 ^{ab}	108,32 ^a	107,31 ^{ab}	106,51 ^b	1,86	0,42	0,034
RCT (R\$) ⁶	808,67 ^a	806,32 ^a	774,20 ^{ab}	751,49 ^b	5,90	9,89	0,001

414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424

¹Controle: dieta basal; ²CrFe: dieta basal + 400 ppb de cromo e 100 ppm de ferro; ³MgSe: dieta basal + 300 ppm de magnésio e 3 ppm de selênio; ⁴CrFeMgSe: dieta basal + 400 ppb de cromo, 100 ppm de ferro, 300 ppm de magnésio e 3 ppm de selênio; ⁵IB = 23,6 + 0,286 × PCQ + Pcmf (porcentagem de carne na carcaça fria); ⁶RCT = (Preço)[(Pcarq ÷ Rendcarq)*(Bonificação)]; CV: coeficiente de variação; EPM: erro padrão da média; CR: custo operacional efetivo da dieta; CRD1: custo operacional efetivo da dieta por dia, do dia 0 a 21; CRD2: custo operacional efetivo da dieta por dia, do dia 22 a 28; CRT: custo operacional efetivo da dieta do dia 0 a 28; CGP: custo operacional efetivo alimentar por kg de ganho de peso; IB: índice de bonificação; RCT: receita. ^{ab}Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente ao nível de significância de 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

ARTIGO 2

**LIPID PROFILE, QUALITY AND LIPID OXIDATION OF
FINISHING PORK MEAT SUPPLEMENTED WITH MINERALS**

Artigo redigido segundo as normas no periódico Meat Science.

27 quality of the same and also more attentive in relation to the health
28 benefits it can provide. To meet this demand, nutritional strategies applied
29 during the animals' production, arise as a tool to improve the meat quality
30 characteristics, as well as to reduce the fat content, making it leaner and
31 with a lipid profile better suited for consumption as recommended by
32 World Health Organization (FAO, 2010; Wood et al., 2003).

33 Supplementation with minerals can contribute to an increase in the
34 amount of tissue muscle and reduction of the fat deposition in the meat
35 due to the effect of the nutrients repartition, standing out the chromium
36 and magnesium, which act on the carbohydrates and lipids metabolism
37 (Apple, Maxwell, deRodas, Watson, & Johnson, 2000; Mertz, 1992;
38 Page, Southern, Ward, & Thompson, 1993). The supplementation with
39 magnesium in pre-slaughter steps has revealed also effect on animals'
40 stress reduction, reducing the catecholamines and cortisol levels release,
41 in addition to acting antagonically to calcium, causing their maximal
42 muscle relaxation and preventing sudden drop in pH (D'Souza, Warner,
43 Dunshea, & Leury, 1999; D'Souza, Warner, Leury, & Dunshea, 1998;
44 Tang, Yu, Zhang, & Chen, 2009), reduces the indices of L*(Machado et
45 al., 2008; Swigert, McKeith, Carr, Brewer, & Culbertson, 2004), in
46 addition to increasing the values of a* (Apple et al., 2000; Schaefer et al.,
47 1993), reducing the occurrence of problems related to meat quality , as
48 the PSE anomaly (pale, soft and exudative). Still, it has demonstrated to
49 affect the activity of the enzyme delta-6 desaturase, participating in the
50 metabolism of long-chain fatty acids, and it may increase, for example,
51 the levels of fatty acids *n*-3 in the meat (Mahfouz & Kummerow, 1989).

52 Currently, due to the genetic breeding focused on increasing lean
53 mass and predominance of polyunsaturated fatty acids, pork meat has
54 become pale. This, combined with a higher propensity to lipid oxidation
55 of such meat, favor the loss of color and an unpleasant aspect to the
56 consumer during its frozen exposure. Thus, the swines' supplementation
57 with iron can increase the iron-heme levels in the muscle (Yu Huang, &
58 Chiou, 2000), an integral part of the pigment myoglobin, fostering
59 improvement in the meat color, turning it redder and more intense. In
60 addition, the supplementation with Selenium can contribute for a better
61 meat stability due to its protective action in the membranes, preserving it
62 against the oxidizing agents (Calvo, Toldrá, Aristoy, López-Bote, & Rey,
63 2016; Mateo, Spallholz, Elder, Yoon, & Kim, 2007). The color of the
64 pigment myoglobin is also dependent on the lipid oxidation degree in the
65 meat (Apple et al., 2007; Mancini & Hunt, 2005).

66 The studies reported in the literature are about the
67 supplementation with these minerals in isolation and many of them assess
68 inorganic sources, which has a lower bioavailability, not being found data
69 concerning their use in association of these minerals for swines. Thus, it
70 was aimed with this study to verify the influence of supplementation
71 associated with organic sources of chromium, iron, magnesium and
72 selenium, on the physico-chemical parameters, proximate composition
73 and lipid oxidation of finishing pork meat.

74

75 **2. Material and methods**

76 For the experiment, 44 barrows were used (crossbreeding between
77 DanBred females- DB90 x males PIC - AGPIC337), with an average

78 weight of 81.6 ± 5.22 kg, housed in finishing swine-house, with concreted
79 floor pens (2.3 x 1.5 m), with semi-automatic feeders and nipple type
80 waterer. The total experimental period was 28 days.

81 The experimental design was in randomized complete block
82 design, according to the live weight, with four treatments (diets) and 11
83 repetitions with each experimental plot represented by an animal. The
84 diets were formulated based on corn, soybean meal, vitamins and
85 minerals, amino acids, and ractopamine, formulated to meet the minimum
86 requirements of finishing swines, according to Rostagno, (2011) and
87 supplemented with chromium, iron, magnesium and selenium from
88 organic source, being the minerals included replacing kaolin (Table 1).
89 The animals were randomly divided into four groups, receiving the
90 following treatments: 1) Control: basal diet for 28 days; 2) CrFe: basal
91 diet + 400 ppb of chromium and 100 ppm of iron during 28 days; 3)
92 MgSe: basal diet for 28 days + 300 ppm of magnesium and 3 ppm of
93 selenium in the last seven days; 4) CrFeMgSe: basal diet + 400 ppb of
94 chromium and 100 ppm of iron during 28 days + 300 ppm of magnesium
95 and 3 ppm of selenium in the last seven days.

96 Food and water were provided *ad libitum* daily and at the end of
97 the experiment, animals were slaughtered with an average weight of
98 111.55 ± 9.53 kg, after 12 hours of rest and fasting, in commercial
99 slaughterhouse according to current standards. At the time of the
100 slaughter, values of pH and initial temperature were measured at 45
101 minutes in the *Longissimus thoracis* muscle (LT) of left half carcasses, at
102 the 12th rib height, with the support of astem digital thermometer and
103 pHmeter with penetration probe (Hanna Instruments, HI 99163,

104 Romênia). The carcasses were kept in a cold chamber for 24 h. Later, the
105 temperature and the final pH were measured again and it was removed a
106 portion of the LT muscle for the evaluations of physical and chemical
107 parameters, proximate composition, lipid profile and lipid oxidation.

108 The objective evaluation of the color was performed at 24 hours
109 *post mortem*, through colorimeter (Konica Minolta CM-700, Singapura),
110 operating in the system CIELAB, with illuminant D65, observer angle of
111 10° and Specular Component Excluded, (SCE), to obtain the lightness,
112 (L*), redness (a*), yellowness (b*), Chroma (C*), and hue angle (h*, in
113 degrees), according to Ramos & Gomide, (2012). The percentages of
114 oxymyoglobin, reduced myoglobin and metmyoglobin were also
115 calculated, according to the methodology of Krzywicki, (1979). It was
116 proceeded to visual analysis of color and marbling, being made by five
117 raters through comparison with a standard NPPC, (1999) and meat
118 pigment content, according to Trout, (1991).

119 The determination of the drip loss was made by the method of
120 suspension for 48 h, according to Honikel (1998), and the cooking loss
121 complying with the methodologies described by Ramos & Gomide,
122 (2012) and Bridi & Silva (2009). The analysis of shear force was
123 performed according to Silva et al., (2015), and the samples cross-cutting
124 sectioned through Warner Bratzler probe coupled to a texturometer
125 (Extralab, TA.XT Plus) and the shear force expressed in newtons (N).
126 The centesimal composition (moisture, protein, ether extract and ashes)
127 was assessed according to the methodology of the *Association of Official*
128 *Analytical Chemists* (Horwitz, 1990).

129 For evaluation of display life, steaks of 2.5 cm in thickness were
130 stored in polypropylene trays, covered with film of polyvinyl chloride
131 (PVC) permeable to oxygen and they were kept frozen (4 °C), under
132 constant light (24 watts), for six days. Along this period of time, the
133 CIELAB color indexes were measured daily, and the readings were
134 performed through the PVC film. In the days one and six after being
135 packed, the samples were subjected to the test of reactive substances to
136 thiobarbituric acid (TBARS) according to Tarladgis, Watts, Younathan,
137 & Dugan Jr, (1960), which also in the times of 1, 60, 120 and 180 days, in
138 samples submitted to the freezing (-18 °C), to verify the meat lipid
139 oxidation under these conditions, and the results were expressed in mg of
140 malondialdehyde per kg of meat.

141 The analysis of the composition of the meat fatty acids and
142 cholesterol was performed by the method of extraction described by
143 Folch, Less, & Sloane Stanley, (1957) and esterification by Hartman &
144 Lago, (1973). The extracts were subjected to gas chromatography in
145 Shimatzu chromatograph GC 2010 (Agilent Technologies Inc., Palo Alto,
146 CA, USA) following the patterns on the chromatogram described by Faria
147 et al., (2015). The identification of fatty acids was carried out through
148 comparison with the retention times presented by the standard
149 chromatogram SupelcoTM37 FAME mix (Supelco Inc., Bellefonte, PA,
150 USA) and expressed in percentage of total fatty acids identified and
151 subsequently grouped into: total saturated fatty acids (SFA), total
152 monounsaturated fatty acids (MUFA), total polyunsaturated fatty acids
153 (PUFA), total fatty acids omega 6 (*n*-6) and omega 3 (*n*-3) and their
154 connections. The activities of the enzymes Δ 9-desaturase, elongase and

155 thioesterase were estimated according to Malau-Aduli, Siebert, Bottema,
156 & Pitchford, (1998) e Kazala et al., (1999). Still, the atherogenicity and
157 thrombogenicity indices were calculated, considered as indicators of
158 health, related to the risk of cardiovascular disease, according to Ulbricht
159 and Southgate, (1991). The cholesterol content in its turn was quantified
160 by colorimetric method, adapted from Bohac, Rhee, Cross, & Ono,
161 (1988), as described by Bragagnolo & Rodriguez-Amaya, (2002), and the
162 results were expressed in mg/100g of meat.

163 All the measured variables were tested for normality by Shapiro-
164 Wilk and those that did not show normal distribution were transformed by
165 the procedure RANK of SAS (SAS 9.3 Intit. Inc., Cary, NC). PROC
166 RANK with NORMAL option was used to produce a transformed
167 standard variable. All data were submitted to analysis of variance
168 ANOVA, being those variables that showed significant differences at a
169 level of significance of 5% of probability, submitted to the Tukey's test
170 and regression for quantitative variables.

171

172 **3. Results and discussion**

173

174 *3.1. Physical-chemical characteristics*

175 The supplementation with different associations between the
176 minerals did not influence the values of pH and initial temperature (45
177 minutes) and final (24 hours *post mortem*), cooking loss and shear force
178 (Table 2).

179 The results found in the literature regarding the supplementation
180 with chromium, magnesium and selenium in general, did not reveal

181 influence on the pH values of the meat (Frederick, Van Heugten, Hanson,
182 & See, 2006; Mahan, Cline, & Richert, 1999; Peres et al., 2014), although
183 there are other studies indicating an improvement in this parameter with
184 the use of magnesium (D'Souza et al., 1998; Swigert et al., 2004).

185 The drip loss at 48 hours was lower ($P = 0.013$) for the meat of
186 animals that received MgSe than those supplemented with CrFe,
187 however, both groups did not differ from the control group and this
188 presented similar means to CrFeMgSe (Table 2). Selenium is an integral
189 part of various selenoproteins, and it is possible to mention the
190 selenoprotein W (*Sel W*) which has demonstrated present antioxidant
191 activity dependent on glutathione peroxidase (GSH-Px) (Jeong et al.,
192 2004) and contrary to the other selenoproteins, its expression in the
193 muscle is increased even in cases of excessive selenium consumption
194 (Vendeland, Umag, Yeh, Ream, & Whanger, 1995). In a study carried out
195 by Li et al., (2011), the supplementation with selenium (0.3 and 3 mg/kg)
196 promoted an increase of gene expression *Sepw1* related to *Sel W* and it
197 was shown a high correlation and negative (-0.90) between the expression
198 of this gene and the drip loss, and this is the crucial point of improvement
199 in water retention capacity in the meat. In addition to selenium,
200 magnesium has also contributed to the reduction of water loss by the meat
201 (D'Souza, Warner, Leury, & Dunshea, 2000; Lisiak et al., 2014; Mateo et
202 al., 2007), indicating the use of these minerals as an alternative therapy in
203 reducing the PSE occurrence.

204 The scores of subjective color and the values of total pigments
205 were not influenced by the supply of minerals, as well as the marbling
206 (Table 2). Similar results were found by Apple et al., (2007) working with

207 iron and Tarsitano et al., (2013) evaluating the supplementation with
208 magnesium. Matthews et al., (2003), however, observed a higher score of
209 marbling with the use of chromium. There are studies in the literature
210 reporting a negative effect of ractopamine in the deposition of
211 intramuscular fat of meat (Agostini et al., 2011; Martins Soares, &
212 Steffens, 2015), due to inhibiting the connection of insulin binding to
213 receptors in fat cells, impairing the lipid synthesis and fat deposition (Liu
214 & Mills, 1990). In addition, a greater deposition of proteins causes an
215 increase in the diameter of the muscle fibers, reducing the space available
216 for the fat deposition (Agostini et al., 2011). This action of the
217 ractopamine could have reduced the effect of chromium in improving the
218 marbling in this study.

219 The levels of moisture, protein and ash content were not altered in
220 function of the treatments (Table 2). On the other hand, the percentage of
221 ether extract was lower ($P = 0.01$) for the group that received MgSe
222 compared to the control group. The group CrFeMgSe did not differ
223 between the groups and MgSe CrFe and the latter was similar to the
224 control group. Magnesium may impair the glucose uptake stimulated by
225 insulin, in addition to reducing the concentration of lipids in the
226 bloodstream (Djurhuus et al., 2001; Günther, 2010). This mineral forms
227 chelates with the free fatty acids, diverting them to be eliminated together
228 with the feces, damaging indirectly the lipid synthesis in the tissues
229 (Apple et al., 2000). This fact could explain the reduction in total lipids,
230 as observed in this study.

231

232 *3.2. Lipid profile*

233 The use of minerals showed effects on the lipid profile of meat
234 (Table 3), and in general, the group supplemented with MgSe showed a
235 reduction in the levels of saturated fatty acids (SFA) ($P = 0.035$) and
236 increase in poly-unsaturated (PUFA) ($P = 0.009$), when compared to the
237 control group. The CrFe and CrFeMgSe groups showed intermediate
238 values for these fatty acids summations.

239 The use of MgSe in the finishing swines diets also promoted
240 reduction of levels of myristic acid (C14:0) ($P = 0.003$) and palmitic acid
241 (C16:0) ($P = 0.008$) and increase in heptadecanoic acid (C17:1) ($P =$
242 0.013), linoleic acid (C18:2n-6c) ($P = 0.008$), eicosadienoic acid
243 (C20:2n-6) ($P = 0.027$), eicosatrienoic acid (C20:3n-6) ($P = 0.032$),
244 arachidonic acid (C20:4n-6) ($P = 0.030$) and behenic acid (C22:0) ($P =$
245 0.031). The increase in the levels of these fatty acids, associated with an
246 increase in the PUFA and reduction of C14:0 and C16:0, being these last
247 two considered fatty atherogenic acids, contributed to the reduction in the
248 rate of atherogenicity, when compared to the control group. These results
249 comply with Lahucky et al., (2004) using magnesium five days before
250 slaughter. The magnesium deficiency was associated with a change in the
251 atherogenic lipid composition of patients with heart disease (Rasmussen
252 et al., 1989), and its use in diet caused an increase in the apolipoprotein A:
253 apolipoprotein B, as a protective mechanism against atherosclerosis. This
254 change in the lipid profile occurred possibly due to its role as a cofactor
255 for enzymes lecithin cholesterol acyl transferase (LCAT) and lipoprotein
256 lipase, essential in lipid metabolism and cholesterol (Gueux, Rayssiguier,
257 Piot, & Alcindor, 1984).

258 The group MgSe presented higher levels of docosahexaenoic acid
259 (DHA) ($P = 0.002$), whereas the control group showed the lowest level.
260 The other fatty acids were not influenced by the treatments applied. This
261 fatty acid has beneficial effects on health including antiatherogenic,
262 antithrombotic and anti-inflammatory action and its synthesis from α -
263 linolenic acid in adult humans is limited. The magnesium, due to being
264 enzymes cofactor responsible for desaturation of long-chain fatty acids
265 (Nakamura & Nara, 2004), may have influenced the highest production of
266 DHA.

267 The ratio PUFA: SFA was 43% higher for the group MgSe ($P =$
268 0.007) as compared to the control group, while the groups CrFe and
269 CrFeMgSe did not differ from the others. There was also an increase of
270 41% and 38% in the content of essential fatty acids $n-3$ ($P = 0.018$) and
271 $n-6$ ($P = 0.009$), respectively, for the group that received MgSe when
272 compared to the control group without, however, affecting the ratio $n-6:n-$
273 3 and the other groups showed intermediate values.

274 The increase, particularly in the content of fatty acids $n-3$ in the
275 meat is an aspect of paramount importance, due to its antithrombotic and
276 anti-atheromatous role, contributing to the prevention of cardiovascular
277 diseases (DeFilippis, Blaha, & Jacobson, 2010; Simopoulos, 1997). Still,
278 the current western diets provide a high consumption of fatty acids $n-6$,
279 and this unbalanced consumption, would be a contributing factor to the
280 occurrence of cardiovascular diseases and inflammatory diseases (Martin
281 et al., 2006; Simopoulos, 2004). Thus, the swine meat due to being the
282 largest source of animal protein consumed in the world, can contribute to
283 the reduction of the ratio $n-6: n-3$ consumed.

284 This increase in the content of essential fatty acids in the group
285 supplemented with magnesium and selenium can be explained by the fact
286 that the first is a cofactor for enzymes $\Delta 5$ and $\Delta 6$ -desaturase, responsible
287 for the reactions of long-chain fatty acids desaturation (Das, 2005, 2010;
288 Horrobin, 1981; Nakamura & Nara, 2004). It was demonstrated that the
289 deficiency of this mineral led to a change in the rat's lipid profile, due to
290 decreased activity of the enzyme $\Delta 6$ -desaturase (Mahfouz &
291 Kummerow, 1989), showing its importance in lipid metabolism.
292 Selenium deficiency also demonstrated to interfere in the rats' lipid
293 profile, reducing the fatty acids *n*-3 (Schäfer, Kyriakopoulos, Gessner,
294 Grune, & Behne, 2004) and low levels of these, have been associated
295 with inhibition of the $\Delta 6$ -desaturase activity (Garg, Sebokova, Thomson
296 & Clandinin, 1988). Additionally, there are reports where this enzyme has
297 been influenced by selenium (Infante, 1986), which then acts indirectly in
298 the process of fatty acids oxygen desaturation, altering the lipid profile
299 (Schäfer et al., 2004).

300 The highest values of *n*-6 series observed result from the fact that
301 the swines' diet is composed mainly of corn and soybeans, providing high
302 levels of linoleic acid, contributing to the proportional reduction in the
303 levels of fatty acids *n*-3 in the meat (Enser, Hallett, Hewitt, Fursey, &
304 Wood, 1996; Rule, Broughton, Shellito, & Maiorano, 2002; Wood et al.,
305 2008).

306 The activity of the enzyme Thioesterase C¹⁶⁻¹⁴ was higher (*P* =
307 0.010) for MgSe regarding the control, and that the groups CrFe and
308 CrFeMgSe, showed similar averages to the others. In spite of the MgSe
309 having presented a reduction of 3.6% in the level of C16:0 as compared to

310 the control group, there was also a more pronounced reduction of C14:00
311 (17.22%), which increased the ratio C16:0:C14:0. This enzyme plays an
312 important role in the final process of the synthesis of fatty acids, being
313 responsible for the cleavage and release of newly-formed fatty acids,
314 having greater affinity for the substrate C16 - ACP acyl than C14 - acyl
315 ACP. With this, the ratio C16:0:C14:0 is used to reflect the selective
316 cleavage of thioesterase being that, the higher the index of activity of this
317 enzyme, the greater the palmitate release is (Lin, 1978; Martin et al.,
318 2014; Pazirandeh, Chirala, Huang & Wakil, 1989).

319 There was a reduction ($P = 0.002$) in the atherogenicity index of
320 10.6% for the meat of animals supplemented with MgSe, when compared
321 to the control group, while the other groups showed intermediate values.
322 The atherogenicity and thrombogenicity indexes indicate the potential to
323 stimulate platelet aggregation, being that the lower their values, it means
324 that the tissue (fat and/or meat) has a better profile of antiatherogenic
325 fatty acids, having then, increased capacity for prevention of coronary
326 heart disease (Arruda et al., 2012). Thus, these results demonstrated that
327 supplementation resulted in a meat with lipid profile more beneficial to
328 health. The thrombogenicity index, however, showed similar values for
329 all treatments.

330 The cholesterol levels ranged from 73.97 to 116.88 (mean of
331 98.08 mg/100g of meat), not being altered by supplementation with
332 minerals used and getting close to those obtained by Faria et al., (2015)
333 (84.76 mg/100g) and Nistor et al., (2013) (108.4 mg/kg) for the swine
334 meat.

335

336 *3.3. Display life*

337

338 The treatments did not influence the meat lipid oxidation over
339 storage time at 4°C (Table 4), despite the increase in the content of
340 polyunsaturated fatty acids in the meat of the diets with magnesium and
341 selenium fostering greater lipid oxidation (Wood et al., 2003), which may
342 be due to the antioxidant selenium effect.

343 There was an increase in the levels of malondialdehyde of $0.05 \pm$
344 0.03 mg MDA/kg on day one for 0.65 ± 0.03 mg MDA/kg on day six.
345 Tarladgis et al., (1960) pointed a limit of 0.5 to 1.0 mg MDA/kg for the
346 off-flavor perception in swine meat. Therefore, at the end of the period of
347 assessment, the animals 'meat from different treatments could exhibit a
348 lipid oxidation sensorially perceptible.

349 Frederick, Van Heugten, & See, (2004) did not observe any effect
350 of magnesium on lipid oxidation of pork meat stored at 4 °C during 8
351 days, as well as Wallis et al., (2003), using iron.

352 The color parameters evaluated during the storage time at 4°C,
353 were affected by the treatments with minerals, although interaction
354 between the diets and the time was not observed (Table 4). The values of
355 a^* ($P = 0.001$) and b^* ($P = 0.001$) were higher in the group CrFeMgSe
356 and lower for MgSe. The control and CrFe groups did not differ among
357 themselves, being that the first had a mean similar to CrFeMgSe and the
358 second a mean similar to MgSe. There was a reduction of C^* ($P = 0.001$)
359 for CrFe MgSe compared with the control group and the latter had mean
360 similar to CrFeMgSe. On the contrary, CrFe and MgSe presented higher
361 values for h^* ($P = 0.003$) compared to the control and CrFeMgSe, being

362 that these last two did not differ among themselves. There was no
363 influence of minerals on L*.

364 These results are in disagreement with the studies of Frederick,
365 Van Heugten, & See, (2004) who observed no influence of magnesium
366 supplied through drinking water during 6 days before slaughter, in the
367 parameters a* and b* of the pork meat stored at 4 °C during 8 days.
368 However, these same authors did not also observe effect of mineral in L*
369 as well as in the present study. Regarding the effect of iron, Wallis et al.,
370 (2003) did not observe any change in L*, a*, b*, C* and h* when they
371 used different concentrations of organic iron, contradicting the findings of
372 the present study, except for the L* that was also not changed by the
373 treatments.

374 There was also an influence of time on the color parameters
375 (Table 4) with linear drop to L* ($P = 0.011$) and the a* ($P < 0.001$) and
376 linear increase for h* ($P < 0.001$) (Figure 1). There was no effect of
377 storage time in b* and C*.

378 The reduction in the values of L* concomitantly with the increase
379 of h* indicates that there was oxidation of the pigment myoglobin (Haile,
380 De Smet, Claeys & Vossen, 2013). This is observed when analyzing the
381 changes in the levels of pigments for the storage period (Figure 2), where
382 we can observe a reduction in the content of oxymyoglobin and increase
383 of metmyoglobin. The myoglobin oxidation with formation of
384 metmyoglobin, which features brownish color was favored by the contact
385 of the meat with the oxygen from the environment (Renerre, 1990). Still,
386 the presence of light (Haile et al., 2013) and the meat lipid oxidation also

387 favors a higher myoglobin oxidation (Faustman & Cassens, 1990),
388 demonstrated by the high correlation between the production of
389 malondialdehyde (TBARS index) and the accumulation of metmyoglobin
390 (Hutchins, Liu & Watts, 1967).

391 *3.4 Oxidative stability during frozen storage*

392 It was not verified effect of supplementation with the minerals
393 (Table 5) in lipid oxidation of the frozen samples stored (-18°C). When
394 evaluating this characteristic throughout the storage time, an increase was
395 observed ($P < 0.0001$) in the TBARS index, reaching values of 0.25 mg
396 MAD/kg of meat at 180 days, a value below those reported by Tarladgis
397 et al., (1960) as a perceptible limit, indicating that the meat, even after six
398 months of freezing, remained sensorially suited for consumption
399 regardless of the treatments used.

400

401 **4. Conclusion**

402 The use associated of magnesium and selenium reduces the
403 amount of lipids, fostering an improvement in lipid profile of swine meat
404 for consumption without negative effects on the quality and its
405 conservation, and it can be used as a tool to improve the nutritional
406 aspects of swine meat.

407

408 **Acknowledgments**

409

410

411 **References**

- 412 Agostini, P. S., Silva, C. A., Bridi, A. M., Abrami, R. A. M., Pacheco, G.
413 D., Lozano, A. P., ... Visentainer, J. V. (2011). Efeito da
414 ractopamina na performance e na fisiologia do suíno. *Archivos de*
415 *Zootecnia*, 60(231), 659–670.
- 416 Apple, J. K., Maxwell, C. V., DeRodas, B., Watson, H. B., & Johnson, Z.
417 B. (2000). Effect of magnesium mica on performance and carcass
418 quality of growing-finishing swine. *Journal of Animal Science*,
419 78(8), 2135–2143.
- 420 Apple, J. K., Wallis-Phelps, W. A., Maxwell, C. V., Rakes, L. K.,
421 Sawyer, J. T., Hutchison, S., & Fakler, T. M. (2007). Effect of
422 supplemental iron on finishing swine performance, carcass
423 characteristics, and pork quality during retail display. *Journal of*
424 *Animal Science*, 85(3), 737.
- 425 Arruda, P. C. L. de, Pereira, E. S., Pimentel, P. G., Bomfim, M. A. D.,
426 Mizubuti, I. Y., Ribeiro, E. L. D. A., ... Filho, J. G. L. R. (2012).
427 Perfil de ácidos graxos no Longissimus dorsi de cordeiros Santa Inês
428 alimentados com diferentes níveis energéticos. *Semina: Ciências*
429 *Agrarias*, 33(3), 1229–1240.
- 430 Bohac, C. E., Rhee, K. S., Cross, H. R., & Ono, K. (1988). Assessment of
431 Methodologies for Calorimetric Cholesterol Assay of Meats. *Journal*
432 *of Food Science*, 53(6), 1642–1644.
- 433 Bragagnolo, N., & Rodriguez-Amaya, D. B. (2002). Teores de colesterol,
434 lipídios totais e ácidos graxos em cortes de carne suína. *Ciência E*
435 *Tecnologia de Alimentos*, 22(1), 98–104.
- 436 Bridi, A. M., & Silva, C. A. da. (2009). *Avaliação da Carne Suína.*
437 *Midiograf* (1st ed.). Londrina.

- 438 Burdge, G. C., Finnegan, Y. E., Minihane, A. M., Williams, C. M., &
439 Wootton, S. a. (2003). Effect of altered dietary n-3 fatty acid intake
440 upon plasma lipid fatty acid composition, conversion of [13C]alpha-
441 linolenic acid to longer-chain fatty acids and partitioning towards
442 beta-oxidation in older men. *The British Journal of Nutrition*, *90*(2),
443 311–321.
- 444 Calvo, L., Toldrá, F., Aristoy, M. C., López-Bote, C. J., & Rey, A. I.
445 (2016). Effect of dietary organic selenium on muscle proteolytic
446 activity and water-holding capacity in pork. *Meat Science*, *121*, 1–
447 11.
- 448 D'Souza, D. ., Warner, R. ., Dunshea, F. ., & Leury, B. . (1999).
449 Comparison of different dietary magnesium supplements on pork
450 quality. *Meat Science*, *51*(3), 221–225.
- 451 D'Souza, D. N., Warner, R. D., Leury, B. J., & Dunshea, F. R. (1998).
452 The effect of dietary magnesium aspartate supplementation on pork
453 quality. *Journal of Animal Science*, *76*(1), 104–109.
- 454 D'Souza, D. N., Warner, R. D., Leury, B. J., & Dunshea, F. R. (2000).
455 The influence of dietary magnesium supplement type, and
456 supplementation dose and duration, on pork quality and the incidence
457 of PSE pork. *Australian Journal of Agricultural Research*, *51*, 185–
458 189.
- 459 Das, U. N. (2005). A defect in the activity of $\Delta 6$ and $\Delta 5$ desaturases may
460 be a factor predisposing to the development of insulin resistance
461 syndrome. *Prostaglandins Leukotrienes and Essential Fatty Acids*,
462 *72*(5), 343–350.
- 463 Das, U. N. (2010). A defect in $\Delta 6$ and $\Delta 5$ desaturases may be a factor in

- 464 the initiation and progression of insulin resistance, the metabolic
465 syndrome and ischemic heart disease in South Asians. *Lipids in*
466 *Health and Disease*, 9(130), 1–10.
- 467 DeFilippis, A. P., Blaha, M. J., & Jacobson, T. A. (2010). Omega-3 fatty
468 acids for cardiovascular disease prevention. *Current Treatment*
469 *Options in Cardiovascular Medicine*, 12(4), 365–380.
- 470 Djurhuus, M. S., Klitgaard, N. A., Pedersen, K. K., Blaabjerg, O., Altura,
471 B. M., Altura, B. T., & Henriksen, J. E. (2001). Magnesium reduces
472 insulin-stimulated glucose uptake and serum lipid concentrations in
473 type 1 diabetes. *Metabolism: Clinical and Experimental*, 50(12),
474 1409–1417.
- 475 Enser, M., Hallett, K., Hewitt, B., Fursey, G. A. J., & Wood, J. D. (1996).
476 Fatty acid content and composition of English beef, lamb and pork at
477 retail. *Meat Science*, 42(4), 443–456.
- 478 Faria, P. B., Cantarelli, V. S., Fialho, E. T., Pinto, A. M. B. G., Faria, J.
479 H., Rocha, M. F. M., ... Bressan, M. C. (2015). Lipid profile and
480 cholesterol of pork with the use of glycerin in feeding. *Arquivo*
481 *Brasileiro de Medicina Veterinária E Zootecnia*, 67(2), 535–546.
- 482 Faustman, C., & Cassens, R. G. (1990). The biochemical basis for
483 discoloration in fresh meat: a review. *Journal of Muscle Foods*, 1(3),
484 217–243.
- 485 Folch, J., Less, M., & Sloane Stanley, G. H. (1957). A simple method for
486 the isolation and purification of total lipides from animal tissues.
487 *Journal of Biological Chemistry*, 226(2), 497–509.
- 488 Food and Agriculture Organization of United Nations FAO. (2010). *Fats*
489 *and fatty acids in human nutrition*. (W. H. O. WHO, Ed.) (10–14

- 490 nove ed., Vol. 91). Roma. Retrieved from
491 [http://foris.fao.org/preview/25553-](http://foris.fao.org/preview/25553-0e4cb94ac52f9a25af77ca5cfba7a8c.pdf)
492 [0e4cb94ac52f9a25af77ca5cfba7a8c.pdf](http://foris.fao.org/preview/25553-0e4cb94ac52f9a25af77ca5cfba7a8c.pdf)
- 493 Frederick, B. R., Van Heugten, E., Hanson, D. J., & See, M. T. (2006).
494 Effects of supplemental magnesium concentration of drinking water
495 on pork quality. *Journal of Animal Science*, 84(1), 185–190.
- 496 Frederick, B. R., Van Heugten, E., & See, M. T. (2004). Timing of
497 magnesium supplementation administered through drinking water to
498 improve fresh and stored pork quality. *Journal of Animal Science*,
499 82, 1454–1460.
- 500 Garg, M. L., Sebokova, E., Thomson, A. B., & Clandinin, M. T. (1988).
501 Delta 6-desaturase activity in liver microsomes of rats fed diets
502 enriched with cholesterol and/or omega 3 fatty acids. *The*
503 *Biochemical Journal*, 249(2), 351–356.
- 504 Gueux, E., Rayssiguier, Y., Piot, M. C., & Alcindor, L. (1984). Reduction
505 of plasma lecithin--cholesterol acyltransferase activity by acute
506 magnesium deficiency in the rat. *The Journal of Nutrition*, 114(8),
507 1479–83.
- 508 Günther, T. (2010). The biochemical function of Mg²⁺ in insulin
509 secretion, insulin signal transduction and insulin resistance.
510 *Magnesium Research : Official Organ of the International Society*
511 *for the Development of Research on Magnesium*, 23(1), 5–18.
- 512 Haile, D. M., De Smet, S., Claeys, E., & Vossen, E. (2013). Effect of
513 light, packaging condition and dark storage durations on colour and
514 lipid oxidative stability of cooked ham. *Journal of Food Science and*
515 *Technology*, 50(2), 239–247.

- 516 Holmer, S. F., McKeith, R. O., Boler, D. D., Dilger, A. C., Eggert, J. M.,
517 Petry, D. B., ... Killefer, J. (2009). The effect of pH on shelf-life of
518 pork during aging and simulated retail display. *Meat Science*, 82(1),
519 86–93.
- 520 Honikel, K. O. (1998). Reference methods for the assessment of physical
521 characteristics of meat. *Meat Science*, 49(4), 447–457.
- 522 Horrobin, D. F. (1981). Loss of delta-6-desaturase activity as a key factor
523 in aging. *Medical Hypotheses*, 7, 1211–1220.
- 524 Hutchins, B. K., Liu, T. H. P., & Watts, B. M. (1967). Effect of additives
525 and refrigeration on reducing activity, metmyoglobin and
526 malonaldehyde of raw ground beef. *Journal of Food Science*, 32(2),
527 214–217.
- 528 Infante, J. P. (1986). Vitamin E and selenium participation in fatty acid
529 desaturation A proposal for an enzymatic function of these nutrients.
530 *Molecular and Cellular Biochemistry*, 69(2), 93–108.
- 531 Jeong, D., Kim, E. H., Kim, T. S., Chung, Y. W., Kim, H., & Kim, I. Y.
532 (2004). Different distributions of selenoprotein W and thioredoxin
533 during postnatal brain development and embryogenesis. *Molecules
534 and Cells*, 17(1), 156–159.
- 535 Kazala, E. C., Lozeman, F. J., Mir, P. S., Laroche, A., Bailey, D. R. C., &
536 Weselake, R. J. (1999). Relationship of fatty acid composition to
537 intramuscular fat content in beef from crossbred wagyu cattle.
538 *Journal of Animal Science*, 77(7), 1717–1725.
- 539 Krzywicki, K. (1979). Assessment of relative content of myoglobin,
540 oxymyoglobin and metmyoglobin at the surface of beef. *Meat
541 Science*, 3(1), 1–10.

- 542 Lahucky, R., Nürnberg, K., Küchenmeister, U., Bahelka, I., Mojto, J.,
543 Nürnberg, G., & Ender, K. (2004). The effect of dietary magnesium
544 oxide supplementation on fatty acid composition, antioxidative
545 capacity and meat quality of heterozygous and normal malignant
546 hyperthermia (MH) pigs. *Archiv Fur Tierzucht-Archives of Animal*
547 *Breeding*, 47(July), 183–191.
- 548 Li, J.-G., Zhou, J.-C., Zhao, H., Lei, X.-G., Xia, X.-J., Gao, G., & Wang,
549 K.-N. (2011). Enhanced water-holding capacity of meat was
550 associated with increased Sepw1 gene expression in pigs fed
551 selenium-enriched yeast. *Meat Science*, 87(2), 95–100.
- 552 Lin, C. Y. (1978). Properties of the thioesterase component obtained by
553 limited trypsinization of the fatty acid synthetase multienzyme
554 complex. *Journal of Biological Chemistry*, 253(6), 1954–1962.
- 555 Lisiak, D., Janiszewski, P., Blicharski, T., Borzuta, K., Grzeškowiak, E.,
556 Lisiak, B., ... Hammermeister, A. (2014). Effect of selenium
557 supplementation in pig feed on slaughter value and physicochemical
558 and sensory characteristics of meat. *Annals of Animal Science*, 14(1),
559 213–222.
- 560 Liu, C. Y., & Mills, S. E. (1990). Decreased insulin binding to porcine
561 adipocytes in vitro by beta-adrenergic agonists. *Journal of Animal*
562 *Science*, 68(6), 1603.
- 563 Machado, O. D., Fontes, D. de O., Ferreira, J. M., Corrêa, G. da S. S.,
564 Nelson, D. L., & Glória, M. B. A. (2008). Desempenho e qualidade
565 da carne de suínos suplementados com magnésio e creatina no
566 período pré-abate. *Brazilian Journal of Food Technology*, 11(3),
567 211–220.

- 568 Mahan, D. C., Cline, T. R., & Richert, B. (1999). Effects of dietary levels
569 of selenium-enriched yeast and sodium selenite as selenium sources
570 fed to growing-finishing pigs on performance, tissue selenium,
571 serum glutathione peroxidase activity, carcass characteristics, and
572 loin quality. *Journal of Animal Science*, 77(8), 2172.
- 573 Mahfouz, M. M., & Kummerow, F. A. (1989). Effect of magnesium
574 deficiency on delta 6 desaturase activity and fatty acid composition
575 of rat liver microsomes. *Lipids*, 24(8), 727–732.
- 576 Malau-Aduli, A. E. O., Siebert, B. D., Bottema, C. D. K., & Pitchford, W.
577 S. (1998). Breed Comparasion of the Fatty Acid Composition of
578 Muscle Phospolipids in Jersey and Limousin Cattle. *Journal of*
579 *Animal Science*, 76, 766–773.
- 580 Mancini, R. a., & Hunt, M. C. (2005). Current research in meat color.
581 *Meat Science*, 71, 100–121.
- 582 Martin, C. A., Almeida, V. V. De, Ruiz, M. R., Visentainer, J. E. L.,
583 Matshushita, M., Souza, N. E. de, & Visentainer, J. V. (2006).
584 Ácidos Graxos Poliinsaturados Ômega-3 E Ômega-6 : Importância E
585 Ocorrência Em Alimentos. *Revista de Nutrição*, 19(6), 761–770.
- 586 Martino, G., Mugnai, C., Compagnone, D., Grotta, L., Del Carlo, M., &
587 Sarti, F. (2014). Comparison of performance, meat lipids and
588 oxidative status of pigs from commercial breed and organic
589 crossbreed. *Animals*, 4(2), 348–360.
- 590 Martins, D. D. S., Soares, M. A., & Steffens, J. (2015). Qualidade da
591 carcaça e rendimento de cortes suínos com o uso de ractopamina.
592 *Ciência Rural*, 45(8), 1503–1508.
- 593 Mateo, R. D., Spallholz, J. E., Elder, R., Yoon, I., & Kim, S. W. (2007).

- 594 Efficacy of dietary selenium sources on growth and carcass
595 characteristics of growing-finishing pigs fed diets containing high
596 endogenous selenium. *Journal of Animal Science*, 85(5), 1177-1183.
- 597 Matthews, J. O., Higbie, A. D., Southern, L. L., Coombs, D. F., Bidner,
598 T. D., & Odgaard, R. L. (2003). Effect of chromium propionate and
599 metabolizable energy on growth, carcass traits, and pork quality of
600 growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 81(1), 191-196.
- 601 Mertz, W. (1992). Chromium. History and nutritional importance.
602 *Biological Trace Element Research*, 32(2), 3-8.
- 603 Nakamura, M. T., & Nara, T. Y. (2004). Structure, function, and dietary
604 regulation of $\Delta 6$, $\Delta 5$, and $\Delta 9$ desaturases. *Annual Review of*
605 *Nutrition*, 24(1), 345-376.
- 606 Nistor, E., Bampidis, V., P, N., Cal, C., Pentea, M., Tozer, J., &
607 Prundeanu, H. (2013). Nutrient Content of Rabbit Meat as Compared
608 to Chicken, Beef and Pork Meat. *Journal of Animal Production*
609 *Advances*, 3(4), 172.
- 610 NPPC. (1999). *Pork Quality Standards*. Des Moines, IA: National Pork
611 Producers Council.
- 612 Page, T. G., Southern, L. L., Ward, T. L., & Thompson, D. L. (1993).
613 Effect of chromium picolinate on growth and serum and carcass
614 traits of growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 71(3),
615 656-62.
- 616 Pazirandeh, M., Chirala, S. S., Huang, W. Y., & Wakil, S. J. (1989).
617 Characterization of recombinant thioesterase and acyl carrier protein
618 domains of chicken fatty acid synthase expressed in *Escherichia coli*.
619 *The Journal of Biological Chemistry*, 264(30), 18195-201.

- 620 Peres, L. M., Bridi, A. M., Silva, C. A. da, Andreo, N., Barata, C. C. P., &
621 Dário, J. G. N. (2014). Effect of supplementing finishing pigs with
622 different sources of chromium on performance and meat quality.
623 *Revista Brasileira de Zootecnia*, 43(7), 369–375.
- 624 Ramos, E. M., & Gomide, L. A. de M. *Avaliação da qualidade de carnes:*
625 *fundamentos e metodologias*. 2reimp. Viçosa: Editora UFV, 2012,
626 599p.
- 627 Rasmussen, H. S., Aurup, P., Goldstein, K., McNair, P., Mortensen, P. B.,
628 Larsen, O. G., & Lawaetz, H. (1989). Influence of magnesium
629 substitution therapy on blood lipid composition in patients with
630 ischemic heart disease. *Archives of Internal Medicine*, 149(5), 1050–
631 1053.
- 632 Renerre, M. (1990). Review : Factors involved in the discoloration of beef
633 meat. *International Journal of Food Science and Technology*, 25,
634 613–630.
- 635 Rostagno, H. S. (2011). *Tabelas brasileiras para aves e suínos:*
636 *composição de alimentos e exigências nutricionais*. 3rd ed. Viçosa,
637 MG: Univerisdade Federal de Viçosa.
- 638 Rule, D. C., Broughton, K. S., Shellito, S. M., & Maiorano, G. (2002).
639 Comparison of muscle fatty acid profiles and cholesterol
640 concentrations of bison, beef cattle, elk, and chicken. *Journal of*
641 *Animal Science*, 80(5), 1202–1211.
- 642 Schaefer, A. L., Murray, A. C., Tong, A. K. W., Jones, S. D. M., &
643 Sather, A. P. (1993). The effect of ante mortem electrolyte therapy
644 on animal physiology and meat quality in pigs segregating at the
645 halothane gene. *Canadian Journal of Animal Science*, 73(June),

- 646 231–240.
- 647 Schäfer, K., Kyriakopoulos, A., Gessner, H., Grune, T., & Behne, D.
648 (2004). Effects of selenium deficiency on fatty acid metabolism in
649 rats fed fish oil-enriched diets. *Journal of Trace Elements in*
650 *Medicine and Biology*, 18(1), 89–97.
- 651 Silva, D. R. G., Torres Filho, R. A., Cazedey, H. P., Fontes, P. R., Ramos,
652 A. L. S., & Ramos, E. M. (2015). Comparison of Warner-Bratzler
653 shear force values between round and square cross-section cores
654 from cooked beef and pork Longissimus muscle. *Meat Science*, 103,
655 1–6.
- 656 Simopoulos, A. P. (1997). ω -3 fatty acids in the prevention-management
657 of cardiovascular disease. *Canadian Journal of Physiology and*
658 *Pharmacology*, 75(3), 234–239.
- 659 Simopoulos, A. P. (2004). Omega-6/Omega-3 Essential Fatty Acid Ratio
660 and Chronic Diseases. *Food Reviews International*, 20(1), 77–90.
- 661 Swigert, K. S., McKeith, F. K., Carr, T. C., Brewer, M. S., & Culbertson,
662 M. (2004). Effects of dietary vitamin D3, vitamin E, and magnesium
663 supplementation on pork quality. *Meat Science*, 67, 81–86.
- 664 Tang, R., Yu, B., Zhang, K., & Chen, D. (2009). Effects of supplemental
665 magnesium aspartate and short-duration transportation on
666 postmortem meat quality and gene expression of u-calpain and
667 calpastatin of finishing pigs. *Livestock Science*, 121(1), 50–55.
- 668 Tarladgis, B. G., Watts, B. M., Younathan, M. T., & Dugan Jr, L. (1960).
669 A distillation method for the quantitative determination of
670 malonaldehyde in rancid foods. *The Journal of the American Oil*
671 *Chemists Society*, 37, 44–48.

- 672 Tarsitano, M. A., Bridi, A. M., Silva, C. A. Da, Constantino, C., Andreo,
673 N., & Dalto, D. B. (2013). Magnesium supplementation in swine
674 finishing stage: performance, carcass characteristics and meat
675 quality. *Semina: Ciências Agrárias*, 34(6), 3105–3118.
- 676 Trout, G.R. (1991). A rapid method for measuring pigment concentration
677 in porcine and other low pigmented muscles. In: 37th International
678 Congress of Meat Science and Technology, Kulmbach. pp. 1198–
679 1201. *Proceedings...*, 2, 75-80.
- 680 Ulbricht, T. L. V., & Southgate, D. A. T. (1991). Coronary heart disease:
681 seven dietary factors. *The Lancet*, 338, 985–992.
- 682 Vendeland, S. C., Beilstein, M. A., Yeh, J.-Y., Ream, W., & Whanger, P.
683 D. (1995). Rat skeletal muscle selenoprotein W: cDNA clone and
684 mRNA modulation by dietary selenium. *Proceedings of the National*
685 *Academy of Sciences of the United States of America*, 92, 8749–
686 8753.
- 687 Wallis, W. A., Apple, J. K., Maxwell, C. V., Rakes, L. K., Hutchison, S.,
688 & Stephenson, J. D. (2003). *Effects of iron supplementation level in*
689 *diets of growing-finishing swine. II. Pork quality traits during retail*
690 *display. Arkansas Animal Science Department Report 2003.*
691 Retrieved from <http://arkansasagnews.uark.edu/509-39.pdf>
- 692 Wood, J. D., Enser, M., Fisher, A. V., Nute, G. R., Sheard, P. R.,
693 Richardson, R. I., ... Whittington, F. M. (2008). Fat deposition, fatty
694 acid composition and meat quality: A review. *Meat Science*, 78(4),
695 343–358.
- 696 Wood, J. D., Richardson, R. I., Nute, G. R., Fisher, A. V., Campo, M. M.,
697 Kasapidou, E., ... Enser, M. (2003). Effects of fatty acids on meat

- 698 quality: A review. *Meat Science*, 66(1), 21–32.
- 699 Yu, B., Huang, W. J., & Chiou, P. W. S. (2000). Bioavailability of iron
700 from amino acid complex in weanling pigs. *Animal Feed Science and*
701 *Technology*, 86, 39–52.
- 702

703 Table 1
704 Composition of basal diet provided to animals during the termination period

Ingredients	kg per 100 kg of diet*
Corn	75.70
Soybean meal	20.00
Soybean oil	1.00
Dicalcium Phosphate	0.77
Limestone	0.56
Salt	0.35
Premix Mineral ¹	0.18
Premix Vitaminic ²	0.30
L- Lysine 50,7%	0.47
DL- Methionine 99%	0.09
L- Threonine 98%	0.10
Ractopamine	0.05
Kaolin**	0.45
Iron ³	6.12 x 10 ⁻⁴
Chromium ⁴	3.4 x 10 ⁻⁶
Magnesium ⁵	3.22 x 10 ⁻³
Selenium ⁶	3.06 x 10 ⁻⁴
TOTAL	100.00
Calculated nutritional values	
Crude protein (%)	15.01
Metabolizable energy (kcal/kg)	3240
Calcium (%)	0.47
Available phosphorus (%)	0.23
Sodium (%)	0.16
Digestible Lysine (%)	0.88
Digestible methionine (%)	0.31
Methionine + Cystine (%)	0.54
Digestible threonine (%)	0.61

705 *Diets: 1) Control: basal diet without mineral supplementation; 2) CrFe: basal diet
706 supplemented with 3.4 mg/kg of Cr and 612.4 mg/kg of Fe; 3) MgSe: basal diet
707 supplemented with 3215.4 mg/kg of Mg and 306.1 mg/kg of Se; 4) CrFeMgSe: basal
708 diet supplemented with 3.4 mg/kg of Cr, 612.4 mg/kg of Fe, 3215.4 mg/kg of Mg and
709 306.1 mg/kg of Se. ** the minerals were included in place of kaolin.

710 ¹Composition per kg of product: cobalt, 299.7 mg; copper, 9.000 mg; iron, 48 g; iodine,
711 659.7 mg; manganese, 21 g; zinc, 78.3 g; selenium, 240.3 mg; ²Composition per kg of
712 product: folic acid, 144 mg; pantothenic acid, 2.160 mg; biotin, 21.60 mg; niacin, 3.960
713 mg; choline, 36.02 g; Vit. A, 1.440.000 U.I.; Vit.B1, 288 mg; Vit.B12, 3.960 mcg;
714 Vit.B2, 720 mg; Vit.B6, 540 mg; Vit. D3, 540.000 U.I.; Vit. E, 7.200 U.I.; Vit. K3, 540
715 mg. ³Biometal Chromium[®]: chromium picolinate (11.68% of Cr); ⁴Biometal Iron[®]:
716 16.33% of Fe; ⁵Biometal magnesium[®]: magnesium bisglycinate (9.33% Mg); ⁶Biometal
717 selenium[®]: selenium glycinate (0.98% Se).

718
719
720

Table 2
Evaluation of the physical-chemical parameters and centesimal composition of the *Longissimus thoracis* (LT) muscle of finishing swines supplemented with different associations between minerals

Parameters	Diets				SEM	P value ⁶
	Control ¹	CrFe ²	MgSe ³	CrFeMgSe ⁴		
Physical-chemical						
Initial pH	6.58	6.35	6.51	6.37	0.09	0.156
Final pH	5.79	5.82	5.86	5.83	0.03	0.594
Initial temperature (°C)	36.73	38.09	36.50	36.91	0.54	0.183
Final temperature (°C)	10.96	10.59	10.57	10.42	0.32	0.551
Drip loss (%)	8.28 ^{ab}	10.99 ^a	7.04 ^b	8.13 ^{ab}	0.82	0.013
Cooking loss (%)	29.40	29.63	26.95	31.06	1.39	0.110
Shear force (N)	70.58	68.92	69.05	76.13	0.38	0.483
Subjective marbling ⁵	2.41	2.25	2.04	1.96	0.15	0.108
Subjective color ⁵	2.95	2.98	3.34	2.83	0.15	0.136
Total pigments (mg/g)	0.73	0.75	0.81	0.67	0.06	0.423
Centesimal composition						
Moisture (%)	72.95	72.73	73.04	72.30	0.53	0.755
Protein (%)	23.51	24.13	24.45	23.16	0.46	0.154
Ash (%)	1.23	1.21	1.28	1.26	0.05	0.789
Ethereal extract (%)	2.38 ^a	2.03 ^{ab}	1.32 ^c	1.66 ^{bc}	0.17	0.001

721
722
723
724
725
726

¹Control: basal diet; ²CrFe: supplementation with chromium and iron; ³MgSe: supplementation with magnesium and selenium; ⁴CrFeMgSe: supplementation with chromium and iron, magnesium and selenium; SEM: standard error of the mean; ⁵Evaluated by comparison with standard NPPC (1999) ranging from 1 (pale pinkish gray to white) to 6 (dark purple red) for color and from 1 (light) to 10 (abundant) for marbling; ⁶Tukey's test ($\alpha = 0.05$).

727
728
729

Table 3
Lipid profile of LT muscle of finishing swines supplemented with different associations between minerals

Parameter	Diets				SEM	P value ⁵
	Control ¹	CrFe ²	MgSe ³	CrFeMgSe ⁴		
C10:0	0.041	0.045	0.027	0.035	0.01	0.147
C12:0	0.106	0.171	0.114	0.136	0.03	0.776
C13:0	0.000	0.003	0.001	0.002	0.01	0.393
C14:0	1.137 ^a	1.027 ^{ab}	0.942 ^b	1.056 ^{ab}	0.03	0.003
C14:1	0.009	0.010	0.009	0.010	0.01	0.866
C15:0	0.052	0.064	0.069	0.065	0.01	0.414
C16:0	25.708 ^a	25.205 ^{ab}	24.749 ^b	25.361 ^{ab}	0.03	0.008
C16:1	2.725	2.658	2.424	2.562	0.00	0.217
C17:0	0.267	0.303	0.330	0.302	0.03	0.299
C17:1	0.543 ^b	0.660 ^{ab}	0.761 ^a	0.689 ^{ab}	0.00	0.013
C18:0	11.789	11.010	11.234	11.436	0.01	0.225
C18:1 _{n-9t}	0.122	0.128	0.158	0.128	0.21	0.652
C18:1 _{n-9c}	45.090	43.367	42.317	43.236	0.11	0.089
C18:2 _{n-6c}	9.191 ^b	11.351 ^{ab}	12.350 ^a	11.101 ^{ab}	0.02	0.008
C20:0	0.121	0.103	0.099	0.113	0.04	0.104
C18:3 _{n-6}	0.046	0.061	0.062	0.056	0.31	0.077
C20:1 _{n-9}	0.549	0.503	0.507	0.490	0.02	0.358
C18:3 _{n-3}	0.086	0.099	0.100	0.094	0.75	0.425
C21:0	0.011	0.012	0.014	0.012	0.61	0.586
C20:2 _{n-6}	0.194 ^b	0.215 ^{ab}	0.245 ^a	0.199 ^{ab}	0.01	0.027
C22:0	0.059 ^b	0.081 ^{ab}	0.086 ^a	0.078 ^{ab}	0.00	0.031
C20:3 _{n-6}	0.172 ^b	0.241 ^{ab}	0.255 ^a	0.218 ^{ab}	0.02	0.032
C22:1 _{n-9}	0.101	0.067	0.058	0.115	0.01	0.320
C20:3 _{n-3}	0.029	0.031	0.039	0.034	0.00	0.280
C20:4 _{n-6}	1.883 ^b	2.600 ^{ab}	2.921 ^a	2.469 ^{ab}	0.01	0.030

C20:5 <i>n</i> -3	0.039	0.050	0.060	0.059	0.01	0.169
C22:6 <i>n</i> -3	0.019 ^b	0.033 ^{ab}	0.040 ^a	0.032 ^{ab}	0.02	0.002
SFA	39.351 ^a	38.080 ^{ab}	37.664 ^b	38.656 ^{ab}	0.02	0.035
MUFA	49.019	47.266	46.074	47.104	0.00	0.086
PUFA	11.776 ^b	14.808 ^{ab}	16.228 ^a	14.387 ^{ab}	0.24	0.009
Σ <i>n</i> -3	0.171 ^b	0.213 ^{ab}	0.239 ^a	0.219 ^{ab}	0.01	0.018
Σ <i>n</i> -6	11.485 ^b	14.47 ^{ab}	15.833 ^a	14.043 ^{ab}	0.00	0.009
Σ <i>n</i> -6/Σ <i>n</i> -3	67.320	68.728	67.187	66.217	0.48	0.960
PUFA/SFA	0.302 ^b	0.392 ^{ab}	0.432 ^a	0.376 ^{ab}	0.79	0.007
Δ9-desaturase C16	9.540	9.530	8.931	9.139	0.86	0.502
Δ9-desaturase C18	79.216	79.784	79.079	78.989	0.01	0.616
Elongase C16-C18	66.635	66.089	66.300	66.151	0.85	0.639
Thioesterase C16-14	95.767 ^b	96.082 ^{ab}	96.338 ^a	96.007 ^{ab}	3.29	0.010
Atherogenicity	0.594 ^a	0.557 ^{ab}	0.531 ^b	0.561 ^{ab}	0.02	0.002
Thrombogenicity	0.401	0.382	0.380	0.396	0.36	0.656
Cholesterol (mg/100g)	75.41	118.14	101.83	101.88	16.30	0.517

730
731
732
733
734
735

¹Control: basal diet; ²CrFe: supplementation with chromium and iron; ³MgSe: supplementation with magnesium and selenium; ⁴CrFeMgSe: supplementation with chromium and iron, magnesium and selenium; SEM: standard error of the mean; SFA: total of saturated fatty acids; MUFLA: total of monounsaturated fatty acids; PUFA: total of unsaturated fatty acids; PUFA/SFA: unsaturated:saturated ratio; ⁵Tukey's test ($\alpha = 0.05$).

736
737
738

Table 4
Color and lipid oxidation of LT muscle of finishing swines supplemented with different associations between minerals, stored at 4 °C for six days

Parameter	Diets (D)				SEM	P value ⁵		
	Control ¹	CrFe ²	MgSe ³	CrFeMgSe ⁴		D	T	DxT
Color								
L*	56.26	55.47	54.40	56.68	1.29	0.090	0.001	1.000
a*	0.74 ^{ab}	0.31 ^{bc}	0.21 ^c	1.18 ^a	0.53	0.001	0.001	0.948
b*	10.34 ^{ab}	9.78 ^{bc}	9.31 ^c	10.37 ^a	0.34	0.001	0.072	0.998
C*	10.46 ^a	9.88 ^b	9.36 ^b	10.51 ^a	0.36	0.001	0.071	0.994
h*	86.05 ^b	88.35 ^a	88.87 ^a	85.50 ^b	1.87	0.003	0.001	0.992
% Pigments								
O ₂ Mb	48.59	46.02	46.21	47.40	1.58	0.310	0.001	0.730
MMb	34.00	33.90	33.35	33.66	1.09	0.734	0.001	0.704
Mb ⁺	17.31	20.11	20.52	18.90	2.29	0.518	0.001	0.970
Lipid oxidation								
TBARS (mg MDA/kg)	0.39	0.33	0.30	0.37	0.07	0.504	0.001	0.704

739
740
741
742

¹Control: basal diet; ²CrFe: supplementation with chromium and iron; ³MgSe: supplementation with magnesium and selenium; ⁴CrFeMgSe: supplementation with chromium and iron, magnesium and selenium; SEM: standard error of the mean; T: time; DxT: Interaction between diet and time; L*: lightness; a*: redness; b* yellowness; C*: Chorma; h*: hue angle; O₂Mb: oxymyoglobin; MMb: metmyoglobin; Mb⁺: reduced myoglobin. MDA: malondialdehyde. ⁵Tukey's test ($\alpha = 0.05$).

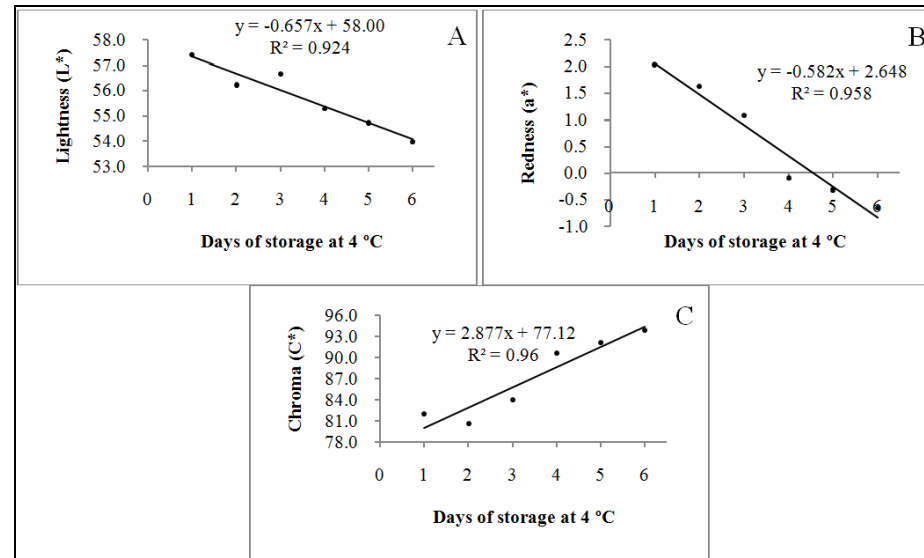
743
744
745

Table 5
Lipid oxidation index (TBARS) of the LT muscle of finishing swines supplemented with different associations between mineral, stored at -18 °C for 180 days

Time (T)	Diets (D)				SEM	P value ⁵		
	Control ¹	CrFe ²	MgSe ³	CrFeMgSe ⁴		D	T ⁶	DxT
Mg of malondialdehyde per kg of meat								
0	0.11	0.05	0.02	0.04	0.06	0.684	0.001	0.323
60	0.20	0.19	0.15	0.19				
120	0.16	0.28	0.17	0.13				
180	0.26	0.18	0.27	0.29				

746
747
748
749
750
751

¹Control: basal diet; ²CrFe: supplementation with chromium and iron; ³MgSe: supplementation with magnesium and selenium; ⁴CrFeMgSe: supplementation with chromium and iron, magnesium and selenium; SEM: standard error of the mean; ⁵Linear regression: $y = 0.001x + 0.077$; $R^2 = 0.87$, where y is mg of malonaldehyde per kilogram of meat and x is storage days at -18 °C.



752
753
754
755
756
757

Figure 1
Regression equations for lightness (A), redness (B) and hue angle (C) of LT muscle of finishing swines supplemented with different mineral associations stored at 4 °C for six days.

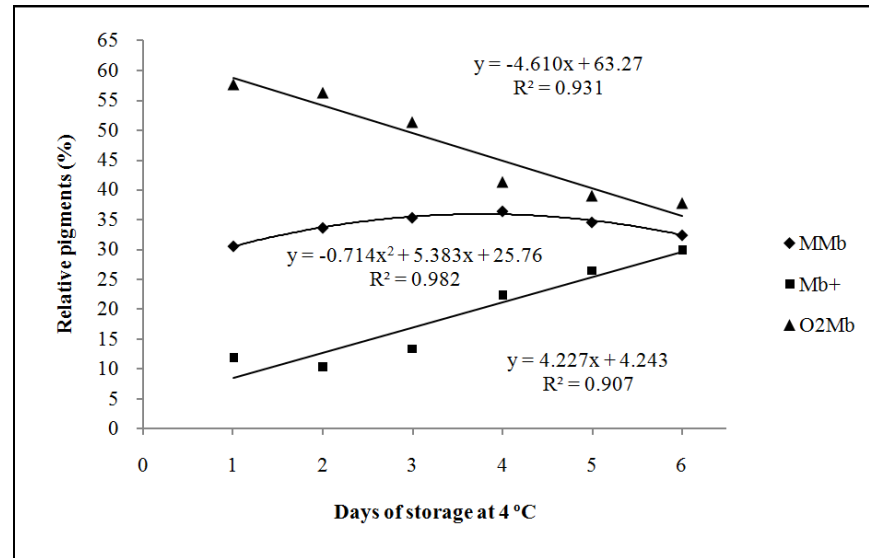


Figure 2

Regression equations for the relative percentage of metmyoglobin (MMb), reduced myoglobin (Mb⁺) and oxymyoglobin (O₂Mb) of the LT muscle of finishing swines supplemented with different mineral associations, stored at 4 °C for six days.

758
759
760
761
762
763