

DIEGO DE ÁVILA MARTINS BRAGA

**SUBSTITUIÇÃO DE FONTES DE MICROMINERAIS INORGÂNICAS  
POR FONTES DE MICROMINERAIS ORGÂNICAS, SELÊNIO E CROMO-  
LEVEDURA EM RAÇÕES PARA SUÍNOS NAS FASES DE CRESCIMENTO E  
TERMINAÇÃO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2017

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

B813e  
2017 Braga, Diego de Ávila Martins, 1984-  
Substituição de fontes de microminerais inorgânicas por  
fontes de microminerais orgânicas, selênio e cromo-levedura em  
rações para suínos nas fases de crescimento e terminação / Diego  
de Ávila Martins Braga. – Viçosa, MG, 2017.  
vi, 47f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Juarez Lopes Donzele.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Suínos - Alimentação e rações. 2. Suínos - Registros de  
desempenho. 3. Carne - Qualidade. 4. Carcaças. 5. Minerais na  
nutrição animal. 6. Minerais no organismo. I. Universidade  
Federal de Viçosa. Departamento de Zootecnia. Programa de  
Pós-Graduação em Zootecnia. II. Título.

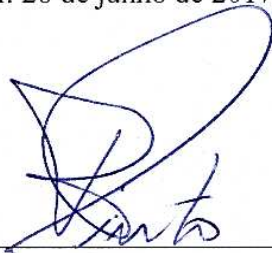
CDD 22. ed. 636.4085

DIEGO DE ÁVILA MARTINS BRAGA

**UTILIZAÇÃO DE MICROMINERAIS DE FONTE ORGÂNICA EM  
SUBSTITUIÇÃO A MICROMINERAIS DE FONTE INORGÂNICA EM  
RAÇÕES PARA SUÍNOS NAS FASES DE CRESCIMENTO E TERMINAÇÃO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 26 de junho de 2017.



Rogério Pinto



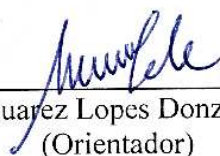
Francisco Carlos de Oliveira Silva



Mário Luiz Chizzotti



Rita Flávia Miranda de Oliveira Donzele  
(Coorientadora)



Juarez Lopes Donzele  
(Orientador)

## SUMÁRIO

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| RESUMO .....                     | iii |
| ABSTRACT .....                   | v   |
| INTRODUÇÃO .....                 | 1   |
| CAPÍTULO I.....                  | 2   |
| Resumo.....                      | 3   |
| Introdução .....                 | 4   |
| Materiais e Métodos .....        | 5   |
| Resultados .....                 | 10  |
| Discussão .....                  | 12  |
| Conclusão .....                  | 17  |
| Referências Bibliográficas ..... | 18  |
| CAPÍTULO II .....                | 22  |
| Resumo .....                     | 23  |
| Introdução .....                 | 23  |
| Materiais e Métodos .....        | 25  |
| Resultados .....                 | 34  |
| Discussão .....                  | 36  |
| Conclusão .....                  | 42  |
| Referências Bibliográficas ..... | 42  |
| CONCLUSÃO .....                  | 46  |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... | 47  |

## RESUMO

BRAGA, Diego de Ávila Martins, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2017. **Substituição de fontes de microminerais inorgânicos por fontes de microminerais orgânicos, selênio e cromo-levedura em rações para suínos nas fases de crescimento e terminação.** Orientador: Juarez Lopes Donzele. Coorientadores: Rita Flávia Miranda de Oliveira Donzele e Melissa Izabel Hannas.

Dois experimentos foram realizados com objetivo de avaliar o efeito de diferentes níveis de substituição de fontes minerais inorgânicos (SMI) por proteínatos, selênio- e cromo-levedura (SMO) no desempenho, excreção fecal de microminerais, características de carcaça, qualidade de carne e deposição de minerais nos ossos e no músculo em rações para suínos dos 63 aos 150 dias de idade. Os animais foram distribuídos seguindo delineamento de blocos ao acaso, com 5 tratamentos (1 nível de fontes de minerais inorgânicos (SMI) e 4 níveis de fontes de minerais orgânicos (SMO)). Não foi observado efeito ( $P>0,05$ ) da substituição do SMI por diferentes níveis de SMO no desempenho. A substituição de SMI por níveis decrescentes de SMO influenciou ( $P<0,05$ ) a excreção fecal de Cu, Fe, Mn, Se e Zn, reduzindo a excreção destes pelos animais. Entretanto, não foi observado efeito ( $P>0,05$ ) dos tratamentos sobre a excreção fecal de cromo. Verificou-se que a substituição de SMI por SMO no período de 63 a 150 dias de idade influenciou ( $P<0,05$ ) a espessura de toucinho (ETP2) e a porcentagem de carne (PC) na carcaça. A substituição de SMO por SMI aumentou ( $P<0,05$ ) a concentração de Se no músculo *longissimus dorsi* nos níveis de 0,125 e 0,075% de SMO. No tecido muscular a suplementação com SMO, ao nível de 0,125%, aumentou ( $P<0,05$ ) a concentração de Cu e reduziu ( $P<0,05$ ) as concentrações de Mn aos níveis de suplementação de 0,075 e 0,050%. Foi verificado efeito ( $P<0,05$ ) da substituição de SMI por diferentes níveis de SMO sobre a concentração de microminerais, exceto para o Mn, nos ossos. Foi observado efeito ( $P<0,05$ ) da substituição de SMI por SMO nos parâmetros de cor da carne. A substituição de 0,100% do SMI por 0,050% de SMO, sob a forma de proteínatos e selênio-levedura, em rações para suínos nas fases de crescimento e terminação, possibilita redução da suplementação dos microminerais nas rações na ordem de 87,50% de Cu; 75,00% de Fe; 90,00% de Mn; 80,00% de Se e 68,25% de Zn, sem alterar o desempenho; e reduz a excreção fecal na ordem de 69,13% de Cu; 44,40% de Fe; 59,30% de Mn; 76,44% de Se e 59,65% de Zn. Ainda a suplementação de diferentes níveis de cromo-levedura não altera o desempenho e a excreção fecal de Cr dos suínos na fase de crescimento e terminação. A substituição de 0,100% de SMI por 0,125% de SMO, sob a

forma de proteinatos, selênio- e cromo-levedura, em rações para suínos nas fases de crescimento e terminação, reduz ETP2; aumenta PC; e aumenta a concentração dos minerais Se, Cu e Mn no músculo e nos ossos. Também a suplementação com Cr, em associação com beta-adrenérgicos, acarreta em redução de ETP2 e aumento de PC na carcaça dos suínos.

## ABSTRACT

BRAGA, Diego de Ávila Martins, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2017. **Dietary substitution of inorganic microminerals for organic microminerals, selenium and chromium yeast in rations of growing-finishing pigs.** Adviser: Juarez Lopes Donzele. Co-advisers: Rita Flávia Miranda de Oliveira Donzele and Melissa Izabel Hannas.

Two experiments were conducted to evaluate the effect of different levels of dietary substitution of inorganic mineral sources (IMS) for proteinates, selenium and chromium yeast (organic mineral sources, OMS) on the performance, fecal excretion of microminerals, carcass traits, meat quality, and mineral deposition in bone and muscles of growing-finishing pigs. The animals were assigned to five treatments (1 level of IMS and 4 levels of organic mineral sources (OMS)). No effect of the substitution of IMS for different levels of OMS was observed on performance. The substitution of IMS for decreasing levels of OMS led to reduced ( $P<0.05$ ) fecal excretions of Cu, Fe, Mn, Se, and Zn. However, no treatment effect ( $P>0.05$ ) was detected on fecal chromium excretion. Replacing IMS for OMS in the period of 63 to 150 days of age influenced ( $P<0.05$ ) backfat thickness and the percentage of meat in the carcass. Substitution of IMS for OMS at the levels of 0.125 and 0.075% elevated ( $P<0.05$ ) the Se concentration in the *longissimus dorsi* muscle. In the muscle tissue, OMS supplementation at the level of 0.125% elevated ( $P<0.05$ ) the concentration of Cu, but the Mn contents decreased ( $P<0.05$ ) at the supplementation levels of 0.075 and 0.050%. An effect of substituting IMS for OMS ( $P<0.05$ ) was detected on the concentration of microminerals, except Mn in the bones. The substitution affected ( $P<0.05$ ) the meat color parameters. The replacement of 0.100% IMS by 0.050% OMS in the form of proteinates and selenium yeast in diets for pigs in the growing and finishing stages allowed for a reduction of dietary supplementation with microminerals of 87.50% Cu, 75.00% Fe, 90.00% Mn, 80.00% Se, and 68.25% Zn, without altering performance; and reduced fecal excretion by 69.13% Cu, 44.40% Fe, 59.30% Mn, 76.44% Se, and 59.65% Zn. Additionally, the supplementation of different levels of chromium yeast does not change the performance or fecal Cr excretion of pigs in the growing and finishing stages. The substitution of 0.100% IMS for 0.125% OMS in the form of proteinates, selenium yeast, and chromium yeast in diets for pigs in the growing and finishing stages improves BFT2 and MD and increases the concentrations of the minerals Se, Cu, and Mn in the muscle and bone

without changing the meat quality. Supplementation with Cr associated with beta-adrenergics leads to a reduction of BFT2 and an increase in MD in the pig carcass.



## INTRODUÇÃO

Os microminerais, como cobre, ferro, manganês, selênio e zinco, são essenciais para o crescimento corporal e estão envolvidos em diversos processos fisiológicos e químicos no organismo animal (Bao et al., 2007). Logo, o fornecimento de níveis adequados de microminerais nas rações favorece a homeostase, sendo importante para a manutenção de funções catalíticas, estruturais, fisiológicas e regulatórias (López-Alonso, 2012).

Conforme destacado por Ao e Pierce, (2013), comumente são adicionadas quantidades de óxidos e sulfatos de microminerais acima das exigências nutricionais de suínos e aves, devido ao menor custo destes produtos. Isto pode ocasionar os seguintes problemas: a suplementação de altos níveis de um mineral pode resultar em deficiência de outro mineral, já que pode ocorrer antagonismo devido a uma inter-relação na absorção e no metabolismo (Ashmead, 2012); os minerais de fontes inorgânicas tendem a se dissociar no baixo pH do trato gastrointestinal superior, deixando os microminerais susceptíveis a nutrientes e fatores anti-nutricionais que reduzem a sua absorção (Richards et al., 2010); e a alta excreção de microminerais pode levar a poluição dos solos e da água (Liu et al., 2016).

Como alternativa para otimização da suplementação de microminerais para suínos, tem sido proposto o fornecimento de fontes de minerais orgânicas nas rações, que são compostas por íons ligados a molécula orgânica, formando assim estruturas químicas com maior estabilidade no trato gastrointestinal e alta disponibilidade, pois não formam complexos com outros nutrientes e fatores anti-nutricionais (Yenice et al., 2015). A maior biodisponibilidade das fontes de minerais orgânicas permite uma redução dos níveis de microminerais nas rações sem alterar o desempenho animal e, ainda, reduz a excreção de microminerais para o meio ambiente (Creech et al., 2004). Entretanto, em poucos estudos foi avaliado o efeito da suplementação de fontes de minerais orgânicas compostas por diversos microminerais no desempenho, excreção fecal, qualidade de carne e deposição mineral nos órgãos e tecidos corporais.

O estudo foi conduzido para avaliar o efeito de diferentes níveis de substituição de suplemento mineral de fontes inorgânicas por proteínatos, selênio- e cromo-levedura no desempenho; na excreção fecal de cromo, ferro, selênio, manganês, cobre e zinco; nas características de carcaça; na deposição de microminerais no músculo e ossos; e na qualidade de carne de suínos dos 63 aos 150 dias de idade.

**Efeito da suplementação de proteinatos, selênio- e cromo-levedura em diferentes níveis de substituição de fontes de minerais inorgânicas sobre o desempenho e a excreção fecal de suínos na fase de crescimento e terminação**

D. A. M. Braga<sup>1\*</sup>, J. L. Donzele<sup>1</sup>, R. F. M. O. Donzele<sup>1</sup>, F. C. O. Silva<sup>2</sup>, M. L. Chizzotti<sup>1</sup>, R. Pinto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Zootecnia - Universidade Federal de Viçosa, MG, Brasil*

<sup>2</sup>*Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, MG, Brasil*

<sup>3</sup>*Univiçosa, MG, Brasil*

## Resumo

O estudo foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes níveis de substituição de fontes minerais inorgânicas (SMI) por proteinatos, selênio- e cromo-levedura (SMO) sobre o desempenho e a excreção fecal de cobre (Cu), cromo (Cr), ferro (Fe), manganês (Mn), selênio (Se) e zinco (Zn) em rações para suínos dos 63 aos 150 dias de idade. Os animais foram distribuídos seguindo delineamento de blocos ao acaso, com 5 tratamentos (1 nível de fontes de minerais inorgânicas (SMI) e 4 níveis de fontes de minerais orgânicas (SMO)). Não foi observado efeito ( $P>0,05$ ) da substituição do SMI por diferentes níveis de SMO no desempenho. A substituição de SMI por níveis decrescentes de SMO influenciou ( $P<0,05$ ) a excreção fecal de Cu, Fe, Mn, Se e Zn, reduzindo a excreção destes pelos animais. Entretanto, não foi observado efeito ( $P>0,05$ ) dos tratamentos sobre a excreção fecal de cromo. A substituição de 0,100% do SMI por 0,050% de SMO, sob a forma de proteinatos e selênio-levedura, em rações para suínos nas fases de crescimento e terminação, possibilita redução da suplementação dos microminerais nas rações na ordem de 87,50% de Cu; 75,00% de Fe; 90,00% de Mn; 80,00% de Se e 68,25% de Zn, sem alterar o desempenho; e reduz a excreção fecal na ordem de 69,13% de Cu; 44,40% de Fe; 59,30% de Mn; 76,44% de Se e 59,65% de Zn. Ainda a suplementação de diferentes níveis de cromo-levedura não altera o desempenho e a excreção fecal de Cr dos suínos na fase de crescimento e terminação.

**PALAVRAS-CHAVE:** complexo de fontes de minerais orgânicos, desempenho, excreção fecal, proteinatos.

## 1. Introdução

A maior parte dos estudos que avaliam o impacto da produção animal sobre o meio ambiente têm como foco o odor, o nitrogênio e o fósforo (Ao e Pierce 2013). Todavia os metais pesados, como cobre e zinco, derivados dos dejetos de origem animal, podem gerar efeitos negativos sobre a microbiota do solo e potencialmente ocasionar perda de fertilidade e produtividade vegetal (Hernández et al. 2008). Ainda os metais pesados não são biodegradáveis e são bioacumuláveis, levando assim ao processo de biomagnificação (Arora et al. 2008). Em excesso, os metais pesados são tóxicos para o organismo animal (Duruibe, Ogwuegbu e Egwurugwu 2007).

De forma rotineira, os produtores de suínos e aves utilizam altos níveis de microminerais nas rações, devido ao baixo custo das fontes inorgânicas (Bao et al. 2007). Todavia, quando os microminerais são suplementados em excesso, ocorre uma maior excreção destes para o meio ambiente, devido aos mecanismos homeostáticos que regulam a concentração dos minerais nas células e nos tecidos corporais (Creech et al. 2004). Logo a formulação de rações contendo menores níveis de microminerais tem sido utilizada como forma de reduzir a contaminação e promover a sustentabilidade ambiental da atividade pecuária.

Atualmente, tem sido conduzidas diversas pesquisas para avaliar a biodisponibilidade de fontes minerais orgânicas, como proteinatos e minerais quelatados (Richards et al. 2010). Em diversos trabalhos ficou evidenciado que os minerais quelatados são mais biodisponíveis que os minerais de fontes inorgânicas, o que permitiu redução da suplementação de microminerais nas rações sem ocasionar perda de desempenho e, concomitantemente, proporcionou menor excreção destes para o meio ambiente (Case e Carlson, 2002; Veum et al., 2004; Ao et al., 2009).

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes níveis de substituição de fontes de mineral inorgânicas por proteinatos, selênio- e cromo-levedura sobre o

desempenho e a excreção fecal de cobre, cromo, ferro, manganês, selênio e zinco em rações para suínos dos 63 aos 150 dias de idade.

## 2. Materiais e métodos

### 2.1. Estudo de desempenho

#### 2.1.1. *Delineamento Experimental e Rações*

O experimento foi conduzido na Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), localizada em Oratórios (MG), entre os meses de novembro de 2012 e março de 2013. Todos os procedimentos experimentais envolvendo os animais foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais de Produção da Universidade Federal de Viçosa (protocolo N° 035/2012).

Foram utilizados 80 suínos machos castrados, híbridos comerciais (♂ AGPIC 425 TG ELITE x ♀ PIC CAMBOROUGH® 25), provenientes de uma granja comercial. Os leitões foram selecionados de lotes com idade de saída da fase de creche de 63 dias, brincados e pesados (peso inicial de  $25,55 \pm 0,19$  kg). Os animais foram distribuídos em delineamento de blocos ao acaso, com 5 tratamentos (um tratamento com fontes de minerais inorgânicas (SMI) e quatro tratamentos com diferentes níveis de fontes de minerais orgânicas (SMO)) e 8 repetições, totalizando 40 unidades experimentais, compostas por dois animais cada. Na formação dos blocos foi utilizado como critério o peso inicial dos suínos.

O SMI e o SMO foram fornecidos pela Alltech (Bioplex TR®). O SMI, que foi adicionado na proporção de 0,100% nas rações do tratamento 1, continha: 1.333,34 g de FeSO<sub>4</sub>; 400 g de CuSO<sub>4</sub>; 8,47 g de iodato de potássio; 806,45 g de MnSO<sub>4</sub>; 4,45 g de Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>; 1.600 g de ZnSO<sub>4</sub>; e 847,29 g de caulim. O SMO foi composto por proteinatos (Fe, Cu, Mn e Zn) e selênio- e cromo-levedura (Bioplex TR®). O Bioplex TR tem como níveis de garantia as seguintes concentrações mínimas: 50 g/kg de Zinco; 40 g/kg de

Ferro; 10 g/kg de Manganês; 5 g/kg de Cobre; 150 mg/kg de Selênio e 100 mg/kg de Cromo. O SMO foi fornecido nos seguintes níveis de substituição do SMI: 0,125% (tratamento 2 (T2)); 0,100% (tratamento 3 (T3)); 0,075% (tratamento 4 (T4) e 0,050% (tratamento 5 (T5)). Os níveis de inclusão calculados dos microminerais em ppm nas rações que foram avaliadas nas fases de crescimento, terminação 1, 2 e 3 estão apresentados na Tabela 1.

As rações foram formuladas para atender as exigências nutricionais dos suínos contidas em Rostagno et al. (2011), para as fases de crescimento (63 aos 90 dias) (Tabela 2), terminação 1 (90 aos 110 dias) (Tabela 3), terminação 2 (110 aos 130 dias) (Tabela 4) e terminação 3 (130 aos 150 dias) (Tabela 5). Os aminoácidos industriais foram adicionados, quando necessário, para manter suas relações com a lisina no mínimo iguais àquelas propostas com base na proteína ideal para esta categoria animal, segundo estes mesmos autores. No último período experimental avaliado (130 aos 150 dias) foi suplementado 10 ppm de ractopamina em todas rações experimentais. As rações e a água foram fornecidas *ad libitum* durante todo o experimento.

### 2.1.2. Instalações, limpeza e ambiente térmico

O galpão experimental foi constituído por baias (área de 1,5 m<sup>2</sup>/animal) de alvenaria e cobertura composta de telhas de fibrocimento, com comedouros móveis tipo calha (espaçamento de 35 cm/animal) e bebedouros tipo chupeta. As baias eram limpas diariamente. O ambiente térmico no interior do galpão experimental foi monitorado diariamente em três horários (às 7h, 11h e 15 h), por meio da leitura dos seguintes termômetros: mínima e máxima (às 7 h); globo negro (TGn), bulbo seco (TBs) e bulbo úmido (TBU) (às 7h, 11h e 15 h). Os termômetros foram posicionados em um corredor localizado no centro do galpão e à altura do corpo dos animais. Os valores registrados de TGn, TBs e TBU e o estimado de umidade relativa foram convertidos posteriormente no

índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) (Buffington et al., 1981) para a caracterização do ambiente térmico em que os animais foram mantidos.

### 2.1.3 – Avaliação do desempenho

As sobras de ração eram coletadas diariamente, armazenadas e pesadas ao término de cada período experimental. Os parâmetros de desempenho avaliados foram: PMF (peso médio final); CRD (consumo de ração médio diário); GPD (ganho de peso médio diário); e CA (conversão alimentar).

Tabela 1 – Níveis de inclusão calculado em ppm dos microminerais nas rações experimentais

| <b>Micro mineral</b>              | <b>SMI<br/>0,100%</b> | <b>SMO<br/>0,125%</b> | <b>SMO<br/>0,100%</b> | <b>SMO<br/>0,075%</b> | <b>SMO<br/>0,050%</b> | <b>Concentração<br/>Relativa ao<br/>SMI (%)</b> |
|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---|
| <i>Crescimento e terminação 1</i> |                       |                       |                       |                       |                       |   |
| Cobre                             | 20,00                 | 6,25                  | 5,00                  | 3,75                  | 2,50                  | 31,25 a 12,5                                    |
| Cromo*                            | 0,00                  | 0,13                  | 0,10                  | 0,08                  | 0,05                  |   |
| Ferro                             | 80,00                 | 50,00                 | 40,00                 | 30,00                 | 20,00                 | 62,5 A 25                                       |
| Manganês                          | 50,00                 | 12,50                 | 10,00                 | 7,50                  | 5,00                  | 25 a 10   |
| Selênio                           | 0,40                  | 0,19                  | 0,15                  | 0,11                  | 0,08                  | 47,5 a 20                                       |
| Zinco                             | 80,00                 | 62,50                 | 50,00                 | 37,50                 | 25,00                 | 78,12 a 31,25                                   |
| <i>Terminação 2</i>               |                       |                       |                       |                       |                       |   |
| Cobre                             | 18,00                 | 5,63                  | 4,50                  | 3,38                  | 2,25                  | 31,25 a 12,5                                    |
| Cromo*                            | 0,00                  | 0,11                  | 0,09                  | 0,07                  | 0,05                  |   |
| Ferro                             | 72,00                 | 45,00                 | 36,00                 | 27,00                 | 18,00                 | 62,5 a 25                                       |
| Manganês                          | 45,00                 | 11,25                 | 9,00                  | 6,75                  | 4,50                  | 25 a 10   |
| Selênio                           | 0,36                  | 0,17                  | 0,14                  | 0,10                  | 0,07                  | 47,5 a 19,4                                     |
| Zinco                             | 72,00                 | 56,25                 | 45,00                 | 33,75                 | 22,50                 | 78,12 a 31,25                                   |
| <i>Terminação 3</i>               |                       |                       |                       |                       |                       |   |
| Cobre                             | 16,00                 | 5,00                  | 4,00                  | 3,00                  | 2,00                  | 31,25 a 12,5                                    |
| Cromo*                            | 0,00                  | 0,10                  | 0,08                  | 0,06                  | 0,04                  |   |
| Ferro                             | 64,00                 | 40,00                 | 32,00                 | 24,00                 | 16,00                 | 62,5 a 25                                       |
| Manganês                          | 40,00                 | 10,00                 | 8,00                  | 6,00                  | 4,00                  | 25 a 10   |
| Selênio                           | 0,32                  | 0,15                  | 0,12                  | 0,09                  | 0,06                  | 47,5 a 18,75                                    |
| Zinco                             | 64,00                 | 50,00                 | 40,00                 | 30,00                 | 20,00                 | 78,12 a 31,25                                   |

\*Contido somente no suplemento de fontes orgânicas.

## 2.2. Ensaio de digestibilidade

### 2.2.1 Delineamento Experimental e Rações

Foram utilizados 20 suínos machos castrados, híbridos comerciais ( $\sigma^7$  AGPIC 425 TG ELITE x  $\phi$  PIC CAMBOROUGH<sup>®</sup> 25), com peso inicial de  $67,37 \pm 0,22$  kg, que foram distribuídos em delineamento de blocos ao acaso, de acordo com o peso inicial, totalizando-se 4 blocos: grupo pesado ( $73,54 \pm 0,19$  kg); grupo médio I ( $69,96 \pm 0,29$  kg); grupo médio II ( $64,67 \pm 0,23$  kg) e grupo leve ( $61,84 \pm 0,25$  kg). Os animais foram alojados individualmente em gaiolas de metabolismo, semelhantes às descritas por Pekas (1968).

Os animais foram alimentados com as rações referentes à fase de terminação 1 (90 a 110 dias de idade). Os suínos receberam diariamente a mesma quantidade de ração por unidade de peso metabólico (peso corporal  $\text{kg}^{0,75}$ ) (NRC, 1998). Sobras de ração foram coletadas e pesadas diariamente. A duração do período experimental foi de 14 dias, sendo 5 dias para adaptação dos animais às gaiolas e às rações experimentais; quatro dias para regularização dos alimentos no trato digestivo do animal, que consistiu no fornecimento diário de ração em quantidades iguais às fornecidas durante o período de coleta; e 5 dias para coleta total de fezes.

As coletas de fezes foram feitas diariamente, após o período de regularização de fluxo. Foi adotado o método de coleta total, sem uso de marcador, em que as fezes excretadas em um período de 24 horas foram pesadas e homogeneizadas. Uma amostra de 20 % do total excretado de cada animal foi retirada, acondicionada em saco plástico, identificada e armazenada em freezer ( $-20^{\circ}\text{C}$ ).

### 2.3. Análise da concentração de microminerais nas fezes

Após o período de coleta, as amostras foram descongeladas em temperatura ambiente por aproximadamente 12 horas, sendo novamente homogeneizadas e retirando, em seguida, uma nova amostra de fezes de cada animal. As amostras foram colocadas em pratos de alumínio, pesadas em balança analítica e colocadas em estufa de ventilação



forçada a 60°C, por um período de 72 horas. Depois de retiradas da estufa, e atingido o equilíbrio com a temperatura ambiente, as amostras foram pesadas, moídas e acondicionadas em frascos com tampa.

Tabela 2 - Composição nutricional das rações experimentais da fase de crescimento (63-90 dias)

| Ingredientes                   | Tratamentos |             |             |             |             |
|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                | 0,100%      | 0,125%      | 0,100%      | 0,075%      | 0,050%      |
|                                | <i>SMI</i>  | <i>SMO</i>  | <i>SMO</i>  | <i>SMO</i>  | <i>SMO</i>  |
| <b>Amido</b>                   | <b>0,25</b> | <b>0,00</b> | <b>0,25</b> | <b>0,50</b> | <b>0,75</b> |
| Milho moído 7.5/13%            | 673,67      | 673,67      | 673,67      | 673,67      | 673,67      |
| Farelo soja 45.5/80            | 281,00      | 281,00      | 281,00      | 281,0       | 281,0       |
| Calcário                       | 6,20        | 6,20        | 6,20        | 6,20        | 6,20        |
| Fosfato bicálcico              | 15,30       | 15,30       | 15,30       | 15,30       | 15,30       |
| Óleo de soja                   | 12,00       | 12,00       | 12,00       | 12,00       | 12,00       |
| Sal comum                      | 4,00        | 4,00        | 4,00        | 4,00        | 4,00        |
| Cloreto de Colina 60%          | 1,55        | 1,55        | 1,55        | 1,55        | 1,55        |
| L-lisina                       | 2,49        | 2,49        | 2,49        | 2,49        | 2,49        |
| Dl-metionina                   | 0,30        | 0,30        | 0,30        | 0,30        | 0,30        |
| L-treonina                     | 0,44        | 0,44        | 0,44        | 0,44        | 0,44        |
| Premix vitamínico <sup>1</sup> | 1,00        | 1,00        | 1,00        | 1,0         | 1,0         |
| <b>Mineral Inorgânico</b>      | <b>1,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> |
| <b>Mineral Orgânico</b>        | <b>0,00</b> | <b>1,25</b> | <b>1,00</b> | <b>0,75</b> | <b>0,50</b> |
| Antibiótico <sup>2</sup>       | 0,80        | 0,80        | 0,80        | 0,80        | 0,80        |
| Composição nutricional         |             |             |             |             |             |
| Proteína bruta (%)             | 18,14       | 18,14       | 18,14       | 18,14       | 18,14       |
| Cálcio (%)                     | 0,70        | 0,70        | 0,70        | 0,70        | 0,70        |
| Fósforo disponível (%)         | 0,38        | 0,38        | 0,38        | 0,38        | 0,38        |
| EM (Mcal/kg)                   | 3,30        | 3,30        | 3,30        | 3,30        | 3,30        |
| Lisina digestível (%)          | 1,04        | 1,04        | 1,04        | 1,04        | 1,04        |
| Metionina dig. (%)             | 0,30        | 0,30        | 0,30        | 0,30        | 0,30        |
| Met+Cis dig. (%)               | 0,58        | 0,58        | 0,58        | 0,58        | 0,58        |
| Treonina dig. (%)              | 0,65        | 0,65        | 0,65        | 0,65        | 0,65        |
| Triptofano dig. (%)            | 0,19        | 0,19        | 0,19        | 0,19        | 0,19        |
| Colina (%)                     | 2,00        | 2,00        | 2,00        | 2,00        | 2,00        |
| Sódio (%)                      | 0,20        | 0,20        | 0,20        | 0,20        | 0,20        |

<sup>1</sup>Composição nutricional (kg /ração): Vitamina A: 6 kUI; vit. D3: 1,5 kUI; vit. E: 15 mg; vit. K3: 1,5 mg; vit. B1: 1,35 mg; vit. B2: 4 mg; vit. B6: 2 mg; vit. B12: 0,02 mg; ácido pantotênico: 9,35 mg; niacina: 20 mg; ácido fólico: 0,6 mg. <sup>2</sup> 0,6 kg de Amoxicilina 50 % e 0,2 % de Tiamulina 80 %.

As análises de concentração de microminerais nas fezes foram realizadas pelo Laboratório CBO Análises Laboratoriais, localizado em Valinhos (SP). O método analítico utilizado para a avaliação da concentração de microminerais nas fezes foi o de espectrofotometria de absorção atômica (EAA) (Procedimento N° 38 – (Sindirações 2005)), que se baseia na extração, por digestão ácida ou calcinação, do elemento mineral

contido na amostra e na determinação de sua concentração por meio da técnica de absorção atômica. Uma amostra de 5 g foi pesada em balança, com aproximação de 0,1 mg, e posteriormente calcinada em cadinho de porcelana por quatro horas a 550 °C. Após a amostra foi transferida para um béquer no qual foi adicionado 50 ml de solução de ácido clorídrico 1:3. Em seguida, o material foi aquecido em placa aquecedora para que reduzisse até 1/3 do volume inicial. O conteúdo foi transferido para um balão volumétrico apropriado. O material foi lavado com água destilada até a completa transferência da amostra, que foi homogeneizada e filtrada em papel de filtro com porosidade média. Após a amostra foi avaliada em um espectrofotômetro.

A concentração do mineral na amostra foi obtida pela seguinte equação:

$$Metal \left( \frac{mg}{kg} \right) = (C \times V \times FD) / P,$$

onde  $C$  é a concentração do elemento na solução da amostra, em mg/L;  $V$  é o volume inicial da solução da amostra, em ml;  $P$  é a massa da amostra, em gramas; e  $FD$  é o fator de diluição (volume do balão / volume da pipeta) em ml.

#### 2.4. Análises estatísticas

O modelo experimental utilizado foi o seguinte:

$$Y_i = \mu + t_i + b_j + e_{ij},$$

onde  $Y_i$  é a variável dependente;  $\mu$  é a média geral;  $t_i$  é o efeito relativo ao tratamento;  $b_j$  é o efeito relativo ao bloco; e  $e_{ij}$  é o erro aleatório. Os dados de desempenho e de excreção fecal foram submetidos à análise de normalidade, utilizando o procedimento UNIVARIATE (SAS Inst. Inc., Cary, NC). Após estes foram analisados por ANOVA ao nível de 5% de significância, utilizando o PROC MIXED do programa SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC). Diferenças entre os tratamentos foram avaliadas pelo teste de Tukey.

### 3. Resultados

#### 3.1. Ambiente térmico

As temperaturas mínima e máxima no interior do galpão experimental, durante o período de estudo foram, respectivamente,  $21,0 \pm 0,15$  e  $31,2 \pm 0,34^\circ\text{C}$ . Considerando que Le Dividich et al., (1987) relataram que  $28^\circ\text{C}$  seria a temperatura limite superior da zona de termoneutralidade para suínos em terminação, pode-se afirmar que durante o experimento os animais foram submetidos a períodos de altas temperaturas.

Tabela 3 - Composição nutricional das rações experimentais da fase de terminação 1 (90-110 dias)

| Ingredientes                   | Tratamentos |             |             |             |             |
|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                | 0,100%      | 0,125%      | 0,100%      | 0,075%      | 0,050%      |
|                                | SMI         | SMO         | SMO         | SMO         | SMO         |
| <b>Amido</b>                   | <b>0,25</b> | <b>0,00</b> | <b>0,25</b> | <b>0,50</b> | <b>0,75</b> |
| Milho moído                    | 731,55      | 731,55      | 731,55      | 731,55      | 731,55      |
| Farelo de soja                 | 232,00      | 232,00      | 232,00      | 232,00      | 232,00      |
| Calcário calcítico             | 5,90        | 5,90        | 5,90        | 5,90        | 5,90        |
| Fosfato bicálcico              | 13,90       | 13,90       | 13,90       | 13,90       | 13,90       |
| Óleo de soja                   | 6,00        | 6,00        | 6,00        | 6,00        | 6,00        |
| Sal comum                      | 4,10        | 4,10        | 4,10        | 4,10        | 4,10        |
| Cloreto de Colina 60%          | 0,40        | 0,40        | 0,40        | 0,40        | 0,40        |
| L-lisina                       | 2,26        | 2,26        | 2,26        | 2,26        | 2,26        |
| DL-metionina                   | 0,23        | 0,23        | 0,23        | 0,23        | 0,23        |
| L-treonina                     | 0,41        | 0,41        | 0,41        | 0,41        | 0,41        |
| Premix vitamínico <sup>1</sup> | 1,00        | 1,00        | 1,00        | 1,00        | 1,00        |
| <b>Mineral Inorgânico</b>      | <b>1,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> |
| <b>Mineral Orgânico</b>        | <b>0,00</b> | <b>1,25</b> | <b>1,00</b> | <b>0,75</b> | <b>0,50</b> |
| Antibiótico <sup>2</sup>       | 1,00        | 1,00        | 1,00        | 1,00        | 1,00        |
| Composição Nutricional         |             |             |             |             |             |
| Proteína Bruta (%)             | 16,33       | 16,33       | 16,33       | 16,33       | 16,33       |
| Cálcio (%)                     | 0,64        | 0,64        | 0,64        | 0,64        | 0,64        |
| Fósforo disponível (%)         | 0,35        | 0,35        | 0,35        | 0,35        | 0,35        |
| EM (Mcal/kg)                   | 3,30        | 3,30        | 3,30        | 3,30        | 3,30        |
| Lisina dig. (%)                | 0,91        | 0,91        | 0,91        | 0,91        | 0,91        |
| Metionina dig. (%)             | 0,27        | 0,27        | 0,27        | 0,27        | 0,27        |
| Met+Cis dig. (%)               | 0,54        | 0,54        | 0,54        | 0,54        | 0,54        |
| Treonina dig. (%)              | 0,59        | 0,59        | 0,59        | 0,59        | 0,59        |
| Triptofano dig. (%)            | 0,16        | 0,16        | 0,16        | 0,16        | 0,16        |
| Colina (%)                     | 1,30        | 1,30        | 1,30        | 1,30        | 1,30        |
| Sódio (%)                      | 0,20        | 0,20        | 0,20        | 0,20        | 0,20        |

<sup>1</sup>Composição nutricional (kg /ração): Vitamina A: 6 kUI; vit. D3: 1,5 kUI; vit. E: 15 mg; vit. K3: 1,5 mg; vit. B1: 1,35 mg; vit. B2: 4 mg; vit. B6: 2 mg; vit. B12: 0,02 mg; ácido pantotênico: 9,35 mg; niacina: 20 mg; ácido fólico: 0,6 mg; selênio: 0,3mg. <sup>2</sup>: Florfenicol 4%.

### 3.2. Desempenho

A substituição de SMI por SMO, nas diferentes concentrações estudadas, não influenciou ( $P>0,05$ ) o peso médio final (PMF), o ganho de peso diário (GPD), o consumo

de ração diário (CRD) e a conversão alimentar (CA) dos animais nas fases avaliadas (Tabela 6).

Tabela 4 - Composição nutricional das rações experimentais da fase de terminação 2 (110-130 dias)

| Ingredientes                   | Tratamentos |             |             |             |             |
|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                | 0,100%      | 0,125%      | 0,100%      | 0,075%      | 0,050%      |
|                                | SMI         | SMO         | SMO         | SMO         | SMO         |
| <b>Amido</b>                   | <b>0,35</b> | <b>0,00</b> | <b>0,25</b> | <b>0,50</b> | <b>0,75</b> |
| Milho moído 7.5/13%            | 755,34      | 755,34      | 755,34      | 755,34      | 755,34      |
| Soja farelo 45.5/80            | 212,17      | 212,17      | 212,17      | 212,17      | 212,17      |
| Calcário                       | 5,57        | 5,57        | 5,57        | 5,57        | 5,57        |
| Fosfato bicálcico              | 12,85       | 12,85       | 12,85       | 12,85       | 12,85       |
| Óleo de soja                   | 3,92        | 3,92        | 3,92        | 3,92        | 3,92        |
| Sal comum                      | 4,12        | 4,12        | 4,12        | 4,12        | 4,12        |
| Cloreto de colina 60%          | 0,28        | 0,28        | 0,28        | 0,28        | 0,28        |
| L-lisina                       | 2,09        | 2,09        | 2,09        | 2,09        | 2,09        |
| DL-metionina                   | 0,14        | 0,14        | 0,14        | 0,14        | 0,14        |
| L-treonina                     | 0,27        | 0,27        | 0,27        | 0,27        | 0,27        |
| Premix vitamínico <sup>1</sup> | 1,00        | 1,00        | 1,00        | 1,00        | 1,00        |
| <b>Mineral Inorgânico</b>      | <b>0,90</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> |
| <b>Mineral Orgânico</b>        | <b>0,00</b> | <b>1,25</b> | <b>1,00</b> | <b>0,75</b> | <b>0,50</b> |
| Antibiótico <sup>2</sup>       | 1,00        | 1,00        | 1,00        | 1,00        | 1,00        |
| Composição nutricional         |             |             |             |             |             |
| Proteína Bruta (%)             | 15,55       | 15,55       | 15,55       | 15,55       | 15,55       |
| Cálcio (%)                     | 0,60        | 0,60        | 0,60        | 0,60        | 0,60        |
| Fósforo Disponível (%)         | 0,33        | 0,33        | 0,33        | 0,33        | 0,33        |
| EM (Mcal/kg)                   | 3,30        | 3,30        | 3,30        | 3,30        | 3,30        |
| Lisina dig. (%)                | 0,85        | 0,85        | 0,85        | 0,85        | 0,85        |
| Metionina dig. (%)             | 0,26        | 0,26        | 0,26        | 0,26        | 0,26        |
| Met+Cis dig. (%)               | 0,51        | 0,51        | 0,51        | 0,51        | 0,51        |
| Treonina dig. (%)              | 0,55        | 0,55        | 0,55        | 0,55        | 0,55        |
| Triptofano dig. (%)            | 0,16        | 0,16        | 0,16        | 0,16        | 0,16        |
| Colina (%)                     | 1,20        | 1,20        | 1,20        | 1,20        | 1,20        |
| Sódio (%)                      | 0,20        | 0,20        | 0,20        | 0,20        | 0,20        |

<sup>1</sup>Composição nutricional (kg /ração): Vitamina A: 6 kUI; vit. D3: 1,5 kUI; vit. E: 15 mg; vit. K3: 1,5 mg; vit. B1: 1,35 mg; vit. B2: 4 mg; vit. B6: 2 mg; vit. B12: 0,02 mg; ácido pantotênico: 9,35 mg; niacina: 20 mg; ácido fólico: 0,6 mg. <sup>2</sup> Florfenicol 4%.

### 3.3. Excreção fecal de microminerais

A substituição do SMI até o nível de 0,050% de SMO reduziu ( $P<0,05$ ) a excreção de Se, Cu, Mn e Zn nas fezes. No entanto, não foi observado efeito ( $P>0,05$ ) da substituição do SMI por SMO na excreção fecal de Cr e Fe (Tabela 7).

## 4. Discussão

Os resultados de desempenho (GPD, CRD e CA) obtidos foram similares aos de Liu et al. (2016), que constataram que a substituição do suplemento mineral de fontes inorgânicas por suplemento mineral de fontes orgânicas para suínos nas fases de crescimento e terminação não influenciou o desempenho. De forma semelhante, Burkett et al. (2006) verificaram que a suplementação com proteínatos possibilitou a redução dos níveis de microminerais de fontes inorgânicas nas rações para suínos na fase de crescimento e terminação, sem variações significativas no ganho de peso diário e na eficiência alimentar. Ainda de acordo com Hernández et al. (2008), os níveis de cobre e zinco, quando na forma de proteínatos, podem ser reduzidos na ração de suínos na fase de crescimento e terminação sem o comprometimento da taxa de crescimento corporal e o consumo de ração e, conseqüentemente, a CA.

Com relação aos resultados de CA, foi constatada que o aumento ocorrido neste parâmetro, que correspondeu a 10,93% quando se comparou os períodos de 63 aos 90 e 63 aos 110 dias de idade; e de 12,20% quando se comparou os períodos de 63 aos 110 e 63 aos 130 dias de idade; foram maiores do que o aumento médio de 0,80% quando se comparou os períodos de 63 aos 130 e 63 aos 150 dias de idade. Este resultado pode ser justificado pelo fato de ter sido utilizado ractopamina nas rações do último período experimental avaliado. A utilização de ractopamina aumenta a síntese proteica e reduz a deposição de gordura na carcaça, resultando em melhora da CA e aumento do ganho de tecido muscular (Webster et al., 2007; Ross et al., 2011; Almeida, Nuñez e Miyada, 2012).

Quanto ao mineral cromo, que foi incluído somente nas rações suplementadas com SMO, foi proposto que a sua utilização em suínos pode resultar em melhora do desempenho por incrementar a sensibilidade e atividade da insulina (Matthews et al., 2001). Todavia, o efeito da suplementação de maiores níveis e fontes com maiores biodisponibilidades deste nutriente no desempenho de suínos na fase de crescimento e terminação ainda é inconclusivo (NRC, 2012; Wang et al., 2013). Neste estudo, não foi

observado efeito da suplementação com diferentes níveis de cromo-levedura e sua associação com outros minerais de fontes orgânicas no desempenho. Este resultado contrasta com aquele obtido por Xu et al. (2017), que observaram uma melhora na conversão alimentar de suínos na fase de terminação e alimentados com 0,2 mg de cromo-metionina e 50 mg de zinco complexado com aminoácido.

Tabela 5 - Composição nutricional das rações da fase de terminação 3 (130-150 dias)

| Ingredientes                   | Tratamentos |             |             |             |             |
|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                | 0,100%      | 0,125%      | 0,100%      | 0,075%      | 0,050%      |
|                                | <i>SMI</i>  | <i>SMO</i>  | <i>SMO</i>  | <i>SMO</i>  | <i>SMO</i>  |
| <b>Amido</b>                   | <b>0,45</b> | <b>0,00</b> | <b>0,25</b> | <b>0,50</b> | <b>0,75</b> |
| Milho moído                    | 726,89      | 726,89      | 726,89      | 726,89      | 726,89      |
| Farelo de soja                 | 241,00      | 241,00      | 241,00      | 241,00      | 241,00      |
| Calcário                       | 5,60        | 5,60        | 5,60        | 5,60        | 5,60        |
| Fosfato bicálcico              | 11,00       | 11,00       | 11,00       | 11,00       | 11,00       |
| Óleo de soja                   | 5,00        | 5,00        | 5,00        | 5,00        | 5,00        |
| Sal comum                      | 4,10        | 4,10        | 4,10        | 4,10        | 4,10        |
| Cloreto de colina 60%          | 0,15        | 0,15        | 0,15        | 0,15        | 0,15        |
| L-lisina                       | 2,25        | 2,25        | 2,25        | 2,25        | 2,25        |
| DL-metionina                   | 0,39        | 0,39        | 0,39        | 0,39        | 0,39        |
| L-treonina                     | 0,61        | 0,61        | 0,61        | 0,61        | 0,61        |
| Premix vitamínico <sup>1</sup> | 1,00        | 1,00        | 1,00        | 1,00        | 1,00        |
| <b>Mineral Inorgânico</b>      | <b>0,80</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> |
| <b>Mineral Orgânico</b>        | <b>0,00</b> | <b>1,25</b> | <b>1,00</b> | <b>0,75</b> | <b>0,50</b> |
| Antibiótico <sup>2</sup>       | 0,25        | 0,25        | 0,25        | 0,25        | 0,25        |
| Ractopamina 2%                 | 0,50        | 0,50        | 0,50        | 0,50        | 0,50        |
| Composição nutricional         |             |             |             |             |             |
| Proteína bruta (%)             | 16,70       | 16,70       | 16,70       | 16,70       | 16,70       |
| Cálcio (%)                     | 0,56        | 0,56        | 0,56        | 0,56        | 0,56        |
| Fósforo disponível (%)         | 0,30        | 0,30        | 0,30        | 0,30        | 0,30        |
| EM (Mcal/kg)                   | 3,30        | 3,30        | 3,30        | 3,30        | 3,30        |
| Lisina dig. (%)                | 0,93        | 0,93        | 0,93        | 0,93        | 0,93        |
| Metionina dig. (%)             | 0,29        | 0,29        | 0,29        | 0,29        | 0,29        |
| Met+Cis dig. (%)               | 0,56        | 0,56        | 0,56        | 0,56        | 0,56        |
| Treonina dig. (%)              | 0,62        | 0,62        | 0,62        | 0,62        | 0,62        |
| Triptofano dig.                | 0,17        | 0,17        | 0,17        | 0,17        | 0,17        |
| Colina (%)                     | 1,20        | 1,20        | 1,20        | 1,20        | 1,20        |
| Sódio (%)                      | 0,20        | 0,20        | 0,20        | 0,20        | 0,20        |

<sup>1</sup>Composição nutricional (kg /ração): Vitamina A: 6 kUI; vit. D3: 1,5 kUI; vit. E: 15 mg; vit. K3: 1,5 mg; vit. B1: 1,35 mg; vit. B2: 4 mg; vit. B6: 2 mg; vit. B12: 0,02 mg; ácido pantotênico: 9,35 mg; niacina: 20 mg; ácido fólico: 0,6 mg.

<sup>2</sup>: Lincospectin 440.

Com relação à ingestão de alimentos pelos suínos, independente da fase de estudo, a redução da suplementação de minerais de fontes orgânicas não influenciou o CRD.

Assim ficou evidenciado que os suínos não alteram o consumo alimentar em razão da concentração dos microminerais nas rações.

Tabela 6 - Efeito dos diferentes níveis de substituição de SMI por SMO no desempenho dos suínos na fase de crescimento e terminação

| Parâmetros              | n | Tratamentos   |               |               |               |               | CV<br>(%) | Valor-<br>P |
|-------------------------|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------|-------------|
|                         |   | <i>SMI</i>    | <i>SMO</i>    | <i>SMO</i>    | <i>SMO</i>    | <i>SMO</i>    |           |             |
|                         |   | <i>0,100%</i> | <i>0,125%</i> | <i>0,100%</i> | <i>0,075%</i> | <i>0,050%</i> |           |             |
| <i>Fase 63-90 dias</i>  |   |               |               |               |               |               |           |             |
| PMI (kg)                | 8 | 25,62         | 25,65         | 25,56         | 25,50         | 25,46         | 3,93      | 0,995       |
| PMF (kg)                | 8 | 50,23         | 48,75         | 48,91         | 48,15         | 48,77         | 4,42      | 0,415       |
| GPD (kg/dia)            | 8 | 0,932         | 0,875         | 0,886         | 0,857         | 0,883         | 8,09      | 0,329       |
| CRD (kg/dia)            | 8 | 1,720         | 1,700         | 1,740         | 1,658         | 1,679         | 7,71      | 0,745       |
| CA                      | 8 | 1,84          | 1,94          | 1,97          | 1,93          | 1,90          | 4,73      | 0,082       |
| <i>Fase 63-110 dias</i> |   |               |               |               |               |               |           |             |
| PMF (kg)                | 8 | 72,63         | 71,83         | 73,34         | 71,45         | 72,06         | 4,75      | 0,828       |
| GPD (kg/dia)            | 8 | 1,013         | 0,995         | 1,030         | 0,990         | 1,004         | 7,03      | 0,800       |
| CRD (kg/dia)            | 8 | 2,165         | 2,116         | 2,224         | 2,057         | 2,128         | 6,29      | 0,102       |
| CA                      | 8 | 2,14          | 2,13          | 2,16          | 2,08          | 2,12          | 5,62      | 0,518       |
| <i>Fase 63-130 dias</i> |   |               |               |               |               |               |           |             |
| PMF (kg)                | 8 | 95,84         | 94,47         | 97,75         | 95,81         | 96,22         | 4,52      | 0,677       |
| GPD (kg/dia)            | 8 | 1,048         | 1,027         | 1,077         | 1,042         | 1,056         | 5,76      | 0,571       |
| CRD (kg/dia)            | 8 | 2,492         | 2,472         | 2,592         | 2,475         | 2,499         | 5,74      | 0,460       |
| CA                      | 8 | 2,38          | 2,41          | 2,41          | 2,37          | 2,37          | 3,77      | 0,781       |
| <i>Fase 63-150 dias</i> |   |               |               |               |               |               |           |             |
| PMF (kg)                | 8 | 121,21        | 118,02        | 123,36        | 121,61        | 123,12        | 4,42      | 0,270       |
| GPD (kg/dia)            | 8 | 1,111         | 1,073         | 1,137         | 1,116         | 1,130         | 5,32      | 0,271       |
| CRD (kg/dia)            | 8 | 2,686         | 2,660         | 2,704         | 2,661         | 2,691         | 5,80      | 0,974       |
| CA                      | 8 | 2,42          | 2,48          | 2,38          | 2,38          | 2,38          | 4,64      | 0,292       |

<sup>abcd</sup> - Médias seguidas por letras diferentes são distintas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Neste estudo foi demonstrado que a redução dos níveis de suplementação de SMO, em comparação com o SMI, levou a menores concentrações de minerais nas fezes, sendo que o nível de 0,050% de SMO ocasionou redução da excreção fecal na ordem de 76,44% de Se; 69,13% de Cu; 44,40% de Fe; 59,30% de Mn e de 59,65% de Zn. Estes dados estão condizentes com aqueles obtidos por diversos pesquisadores, que observaram

menores teores de microminerais nas fezes ao reduzir os níveis destes suplementados nas rações, com maior redução sendo verificada com a utilização de fontes de minerais orgânicos sob a forma de quelatos (Yenice et al., 2015), proteinatos (Nollet et al., 2007; Leeson et al., 2008) e selênio-levedura (Liu et al., 2016). Estes resultados corroboram ainda observação de Creech et al. (2004) e Liu et al. (2014), que afirmaram que a utilização de minerais de fontes orgânicas em substituição aos minerais sob a forma de óxidos e sulfatos, devido à sua maior biodisponibilidade, seria uma forma eficiente de reduzir a excreção fecal de minerais e, conseqüentemente, a contaminação do meio ambiente.

Tabela 7 – Excreção fecal de microminerais em mg/kg

| Minerais<br>(mg/g) | n | Tratamentos                 |                             |                             |                             |                             | CV<br>(%) | Valor-<br>P |
|--------------------|---|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|-------------|
|                    |   | <i>SMI</i><br><i>0,100%</i> | <i>SMO</i><br><i>0,125%</i> | <i>SMO</i><br><i>0,100%</i> | <i>SMO</i><br><i>0,075%</i> | <i>SMO</i><br><i>0,050%</i> |           |             |
| Cobre              | 4 | 215,63 <sup>a</sup>         | 125,83 <sup>b</sup>         | 93,59 <sup>c</sup>          | 94,09 <sup>c</sup>          | 66,56 <sup>d</sup>          | 9,52      | <0,001      |
| Cromo              | 4 | 6,43                        | 6,78                        | 6,71                        | 6,83                        | 6,43                        | 12,36     | 0,924       |
| Ferro              | 4 | 5316,7 <sup>a</sup>         | 3670,1 <sup>bc</sup>        | 3628,8 <sup>bc</sup>        | 4009,9 <sup>b</sup>         | 2955,8 <sup>c</sup>         | 9,45      | <0,001      |
| Manganês           | 4 | 716,48 <sup>a</sup>         | 375,22 <sup>b</sup>         | 318,83 <sup>c</sup>         | 312,78 <sup>c</sup>         | 291,57 <sup>c</sup>         | 6,90      | <0,001      |
| Selênio            | 4 | 0,242 <sup>b</sup>          | 0,052 <sup>a</sup>          | 0,047 <sup>a</sup>          | 0,055 <sup>a</sup>          | 0,057 <sup>a</sup>          | 9,20      | 0,002       |
| Zinco              | 4 | 1412,55 <sup>a</sup>        | 1085,50 <sup>b</sup>        | 853,01 <sup>c</sup>         | 852,94 <sup>c</sup>         | 569,85 <sup>d</sup>         | 9,22      | <0,001      |

<sup>abcd</sup> - Médias seguidas por letras diferentes são distintas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Os resultados de desempenho e excreção fecal, obtidos neste estudo, são indicativos da maior biodisponibilidade do SMO em relação ao SMI. Conforme destacado por Ao e Pierce (2013), os minerais orgânicos possuem maior biodisponibilidade que os sais inorgânicos por razões como: o processo de absorção passiva é favorecido nos minerais de fontes orgânicas, já que a estrutura cíclica destes neutraliza a carga positiva do metal e o protege de interações químicas com outros nutrientes no trato gastrointestinal; a quelação aumenta a solubilidade e o movimento dos minerais através das membranas celulares; e o mineral quelatado passa intacto através da mucosa intestinal



para o sangue, e deste modo é absorvido de forma mais eficiente e por diferentes rotas metabólicas, quando comparado com minerais de fontes inorgânicas.

Destaca-se também que diversos fatores interferem na disponibilidade dos minerais para a absorção no intestino delgado, já que os microminerais, principalmente de fontes inorgânicas, tendem a se dissociar no baixo pH do trato digestivo superior, o que favorece a interação dos destes com fatores anti-nutricionais que reduzem a absorção e aumentam a excreção de minerais nas fezes (Richards et al., 2010). Dentro deste contexto, Ao e Pierce (2013) afirmaram que o Zn e o Cu podem se ligar ao fitato causando alteração conformacional em sua molécula, o que o torna menos acessível à fitase. Ainda conforme relatado por Selle et al. (2012), a formação de compostos binários entre Zn e fitato ou ternário entre proteínas, Zn e fitato, pode ocasionar a paraqueratose, que é uma manifestação clínica da deficiência de zinco. Também Jolliff e Mahan (2012), ao avaliarem o efeito do uso de fitase e inulina na retenção tecidual e digestibilidade mineral para suínos desmamados e em crescimento, observaram que a suplementação de fitase aumentou a digestibilidade e a deposição de cátions no fígado, coração e fígado. Neste estudo, com o intuito de avaliar a efetividade dos níveis de substituição do SMI por SMO, não se utilizou enzimas exógenas como a fitase, o que pode ter levado a aumento da excreção fecal de microminerais dos animais alimentados com o SMI.

## **5. Conclusão**

A substituição de 0,100% do SMI por 0,050% de SMO, sob a forma de proteínatos e selênio-levedura, em rações para suínos nas fases de crescimento e terminação, possibilita redução na suplementação dos microminerais nas rações na ordem de 87,50% de Cu; 90% de Mn; 75% de Fe; 80% de Se e 68,25% de Zn, sem alterar o desempenho; e reduz a excreção fecal na ordem de 76,44% de Se; 69,13% de Cu; 44,40% de Fe; 59,30%

de Mn e 59,65% de Zn. Ainda a suplementação de diferentes níveis de cromo-levedura não altera o desempenho e a excreção fecal de Cr dos suínos na fase de crescimento e terminação.

## 6. Referências bibliográficas

- ALMEIDA, V.V.; NUÑEZ, A.J.C.; MIYADA, V.S. Ractopamine as a metabolic modifier feed additive for finishing pigs: a review. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.55, n.3, p.445–56, 2012.
- AO, T.; PIERCE, J.L.; POWER, R.; PESCAROTE, A.J.; CANTOR, A.H.; DAWSON, K.A.; FORD, M.J. Effects of feeding different forms of zinc and copper on the performance and tissue mineral content of chicks. **Poultry Science**, v.88, n.10, p.2171–75, 2009.
- AO, T.; PIERCE, J. The replacement of inorganic mineral salts with mineral proteinates in poultry diets. **World's Poultry Science Journal**, v.69, n.01, p.5–16, 2013.
- ARORA, M.; KIRAN, B.; RANI, S.; RANI, A.; KAUR, B.; MITTAL, N. Heavy metal accumulation in vegetables irrigated with water from different sources. **Food Chemistry**, v.111, n.4, p.811–15, 2008.
- BAO, Y.M.; CHOCT, M.; IJI, P.A.; BRUERTON, K. Effect of organically complexed copper, iron, manganese, and zinc on broiler performance, mineral excretion, and accumulation in tissues. **Journal of Applied Poultry Research**, v.16, n.3, p.448–55, 2007.
- BUFFINGTON, D.E.; COLLAZO-AROCHO, A.; CANTON, G.H.; PITT, D.; THATCHER, W.W.; COLLIER, R.J. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASABE**, v.24, p.711–14, 1981.
- BURKETT, J.; STALDER, K.J.; POWERS, W.J.; BAAS, T.J.; MABRY, J.W. The effect of inorganic, organic and no trace mineral supplementation on growth performance, fecal excretion and digestibility of grow-finish swine. **Animal Industry Report**, v.652, n.1, p.13–17, 2006.
- CASE, C.L.; CARLSON, M.S. Effect of feeding organic and inorganic sources of additional zinc on growth performance and zinc balance in nursery pigs. **Journal of Animal Science**, v.80, n.7, p.1917–24, 2002.
- CREECH, B.L.; SPEARS, J.W.; FLOWERS, W.L.; HILL, G.M.; LLOYD, K.E.; ARMSTRONG, T.A.; ENGLE, T.E. Effect of dietary trace mineral concentration

- and source (inorganic vs. chelated) on performance, mineral status, and fecal mineral excretion in pigs from weaning through finishing. **Journal of Animal Science**, v.82, n.7, p.2140–47, 2004.
- DURUIBE, J.O.; OGWUEGBU, M.O.; EGWURUGWU, J.N. Heavy metal pollution and human biotoxic effects. **International Journal of Physical Sciences**, v.2, n.5, p.112–18, 2007.
- HERNÁNDEZ, A.; PLUSKE, J.R.; D’SOUZA, D.N.; MULLAN, B.P. Levels of copper and zinc in diets for growing and finishing pigs can be reduced without detrimental effects on production and mineral status. **Animal The Animal Consortium**, v.2, n.12, p.1763–1771, 2008.
- JOLLIFF, J.S.; MAHAN, D.C. Effect of dietary inulin and phytase on mineral digestibility and tissue retention in weanling and growing swine. **Journal of Animal Science**, v.90, n.9, p.3012–3022, 2012.
- LE DIVIDICH, J.; NOBLET, J.; BIKAWA, T. Effect of environmental temperature and dietary energy concentration on the performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs fed to equal rate of gain. **Livestock Production Science**, v.17, p.235–46, 1987.
- LEESON, S.; NAMKUNG, H.; CASTON, L.; DUROSOY, S.; SCHLEGEL, P. Comparison of selenium levels and sources and dietary fat quality in diets for broiler breeders and layer hens. **Poultry Science**, v.87, p.2605–2612, 2008.
- LIU, B.; XIONG, P.; CHEN, N.; HE, J.; LIN, G.; XUE, Y.; LI, W.; YU, D. Effects of replacing of inorganic trace minerals by organically bound trace minerals on growth performance, tissue mineral status, and fecal mineral excretion in commercial grower-finisher pigs. **Biological Trace Element Research**, v.173, n.2, p.316–324, 2016.
- LIU, Y.; MA, Y.L.; ZHAO, J.M.; STEIN, H.H. Digestibility and retention of zinc, copper, manganese, iron, calcium, and phosphorus in pigs fed diets containing inorganic or organic minerals. **Journal of Animal Science**, v.92, n.8, p.3407–3415, 2014.
- MATTHEWS, J.O.; SOUTHERN, L.L.; FERNANDEZ, J.M.; PONTIF, J.E.; BIDNER, T.D.; ODGAARD, R.L. Effect of chromium picolinate and chromium propionate on glucose and insulin kinetics of growing barrows and on growth and carcass traits of growing-finishing barrows. **Journal of Animal Science**, v.79, n.8, p.2172–78, 2001.
- NOLLET, L.; VAN DER KLIS, J.D.; LENSING, M.; SPRING, P. The effect of replacing inorganic with organic trace minerals in broiler diets on productive performance and

- mineral excretion. **Journal of Applied Poultry Research**, v.16, n.4, p.592–597, 2007.
- NRC. 2012. *Nutrient Requirements of Swine.Pdf*. 11th ed. Washington: The National Academic Press.
- RICHARDS, J.D.; ZHAO, J.; HARREIL, R.J.; ATWELL, C.A.; DIBNER, J.J. Trace mineral nutrition in poultry and swine. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v.23, n.11, p.1527–1534, 2010.
- ROSS, K.A.; BEAULIEU, A.D.; MERRILL, J.; VESSIE, G.; PATIENCE, J.F. The impact of ractopamine hydrochloride on growth and metabolism, with special consideration of its role on nitrogen balance and water utilization in pork production. **Journal of Animal Science**, v.89, n.7, p.2243–2256, 2011.
- SELLE, P.H.; COWIESON, A.J.; COWIESON, N.P.; RAVINDRAN, V. Protein–phytate interactions in pig and poultry nutrition: a reappraisal. **Nutrition Research Reviews**, v.25, n.01, p.1–17, 2012.
- SINDIRAÇÕES. 2005. *Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal 2005*. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=sJOXMQAACAAJ>>.
- VEUM, T.L.; CARLSON, M.S.; WU, C.W.; BOLLINGER, D.W.; ELLERSIECK, M.R. Copper proteinate in weanling pig diets for enhancing growth performance and reducing fecal copper excretion compared with copper sulfate. **Journal of Animal Science**, v.82, n.4, p.1062–1070, 2004.
- WANG, L.; SHI, Z.; JIA, Z.; SU, B.; SHI, B.; SHAN, A. The effects of dietary supplementation with chromium picolinate throughout gestation on productive performance, Cr concentration, serum parameters, and colostrum composition in sows. **Biological Trace Element Research**, v.154, n.1, p.55–61, 2013.
- WEBSTER, M.J.; GOODBAND, R.D.; TOKACH, M.D.; NELSEN, J.L.; DRITZ, S.S.; UNRUH, J.A.; BROWN, K.R.; REAL, D.E.; DEROUCHÉY, J.M.; WOODWORTH, J.C.; GROESBECK, C.N.; MARSTELLER, T.A. Interactive effects between ractopamine hydrochloride and dietary lysine on finishing pig growth performance, carcass characteristics, pork quality, and tissue accretion. **The Professional Animal Scientist**, v.23, n.6, p.597–611, 2007.
- XU, X. LIU, L.; LONG, S.F.; PIAO, X.S.; WARD, T.L.; JI, F. Effects of chromium methionine supplementation with different sources of zinc on growth performance, carcass traits, meat quality, serum metabolites, endocrine parameters, and the antioxidant status in growing-finishing pigs. **Biological Trace Element Research**, v.179, n.1, p.70–78, 2017.

YENICE, E.; MIZRAK, C.; GÜLTEKIN, M.; ATIK, Z.; TUNCA, M. Effects of organic and inorganic forms of manganese, zinc, copper, and chromium on bioavailability of these minerals and calcium in late-phase laying hens. **Biological Trace Element Research**, v.167, n.2, p.300–307, 2015.

**Efeito da substituição de minerais de fontes inorgânicas por proteinatos, selênio- e cromo-levedura na tipificação de carcaça, deposição de minerais no músculo e ossos e qualidade de carne de suínos nas fases de crescimento e terminação**

D. A. M. Braga<sup>1</sup>, J. L. Donzele<sup>1</sup>, R. F. M. O. Donzele<sup>1</sup>, F. C. O. Silva<sup>2</sup>, M. L. Chizzotti<sup>1</sup>,  
R. Pinto<sup>3</sup>

*<sup>1</sup>Departamento de Zootecnia - Universidade Federal de Viçosa, MG, Brasil*

*<sup>2</sup>Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, MG, Brasil*

*<sup>3</sup>Univçosa, MG, Brasil*

## Resumo

O estudo foi conduzido para avaliar o efeito da substituição de suplemento mineral de fontes inorgânicas (SMI) por diferentes níveis de suplemento mineral orgânico (SMO), contendo proteínatos e selênio- e cromo-levedura, na tipificação de carcaça, qualidade de carne e deposição de minerais nos ossos e no músculo de suínos nas fases de crescimento e terminação. Verificou-se que a substituição de SMI por SMO no período de 63 a 150 dias de idade influenciou ( $P<0,05$ ) a espessura de toucinho (ETP2) e a porcentagem de carne (PC) na carcaça. A substituição de SMO por SMI aumentou a concentração de Se no músculo *longissimus dorsi* (LD) nos níveis de 0,125 e 0,075% de SMO. No tecido muscular a suplementação com SMO, ao nível de 0,125%, aumentou a concentração de Cu e reduziu as concentrações de Mn aos níveis de 0,075 e 0,05%. Foi verificado efeito ( $P<0,05$ ) da substituição de SMI por diferentes níveis de SMO sobre a concentração de microminerais, exceto para o Mn, nos ossos. Foi observado efeito ( $P<0,05$ ) da substituição de SMI por SMO nos parâmetros de cor da carne. A substituição de 0,100% de SMI por 0,125% de SMO, sob a forma de proteínatos, selênio- e cromo-levedura, em rações para suínos nas fases de crescimento e terminação, reduz ETP2; aumenta PC; e aumenta a concentração dos minerais Se, Cu e Mn no músculo e nos ossos. A suplementação com Cr, em associação com beta-adrenérgicos, acarreta em redução da ETP2 e aumento do PC na carcaça dos suínos.

**PALAVRAS-CHAVE:** proteínatos, cromo, ractopamina, cor, peroxidação lipídica.

## 1. Introdução

Os microminerais, como cobre, ferro, manganês, selênio e zinco, são essenciais para o crescimento corporal e estão envolvidos em diversos processos fisiológicos e químicos no organismo animal (Bao et al., 2007). Logo o fornecimento de níveis

adequados de microminerais nas rações garante a homeostase do organismo animal, sendo importante para a manutenção de funções catalíticas, estruturais, fisiológicas e regulatórias (López-Alonso, 2012).

Conforme destacado por Ao e Pierce (2013), comumente são adicionadas quantidades de óxidos e sulfatos de microminerais acima das exigências nutricionais dos suínos e aves, devido ao menor custo destes produtos. Isto pode ocasionar os seguintes problemas: a suplementação de altos níveis de um mineral pode resultar em deficiência de outro mineral, já que existe antagonismo devido a uma inter-relação na absorção e no metabolismo (Ashmead, 2012); os minerais inorgânicos tendem a se dissociar no baixo pH do trato gastrointestinal superior, deixando os minerais susceptíveis a nutrientes e fatores anti-nutricionais que reduzem sua absorção (Richards et al., 2010); e a alta excreção de microminerais pode levar à poluição dos solos e da água (Liu et al., 2016).

Como alternativa para a utilização de minerais de fontes inorgânicas em níveis acima dos recomendados nas rações, tem sido proposta a suplementação com minerais orgânicos. Estes são compostos por íons ligados a uma molécula orgânica, formando assim estruturas químicas com maior estabilidade no trato gastrointestinal e alta disponibilidade, pois não formam complexos com outros nutrientes e fatores anti-nutricionais (Yenice et al., 2015). A maior biodisponibilidade das fontes orgânicas permite uma redução dos níveis de microminerais nas rações sem alterar o desempenho animal e, ainda, reduz a excreção de minerais para o meio ambiente (Creech et al., 2004). Entretanto, em poucos estudos foi avaliado o efeito da suplementação de fontes orgânicas compostas por diversos microminerais na qualidade de carne e deposição mineral nos tecidos corporais.

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da substituição de fontes de minerais inorgânicas por diferentes níveis de fontes de minerais orgânicas, contendo proteínatos e



selênio- e cromo-levedura, nas características de carcaça, qualidade de carne e deposição de minerais nos ossos e no músculo de suínos nas fases de crescimento e terminação.

## **2. Materiais e Métodos**

### **2.1 - Descrição geral**

O experimento foi conduzido na Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), localizada em Oratórios (MG), entre os meses de novembro de 2012 e março de 2013. Todos os procedimentos experimentais envolvendo os animais foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais de Produção da Universidade Federal de Viçosa (protocolo N° 035/2012).

Durante o experimento de desempenho, foram utilizados 80 suínos machos castrados, híbridos comerciais (♂ AGPIC 425 TG ELITE x ♀ PIC CAMBOROUGH® 25), provenientes de uma granja comercial. Os leitões foram selecionados de lotes com idade de saída da fase de creche de 63 dias, brincados e pesados (peso inicial de  $25,55 \pm 0,19$  kg). Posteriormente, os animais foram distribuídos nas baias seguindo-se um delineamento de blocos ao acaso, com 5 tratamentos (1 nível controle de suplemento inorgânico industrial (SMI) e 4 níveis distintos de suplemento mineral orgânico (SMO)) e 8 repetições, com 2 animais cada unidade experimental. Na formação dos blocos foi utilizado como critério o peso médio inicial dos cevados.

O SMI e o SMO foram fornecidos pela empresa Alltech (Bioplex<sup>TR</sup>). O SMI, que foi adicionado na proporção de 0,100% nas rações do tratamento 1 (T1), continha: 1.333,34 g de FeSO<sub>4</sub>; 400 g de CuSO<sub>4</sub>; 8,47 g de iodato de potássio; 806,45 g de MnSO<sub>4</sub>; 4,45 g de Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>; 1.600 g de ZnSO<sub>4</sub>; e 847,29 g de caulim. O SMO era composto por proteínatos (Fe, Cu, Mn e Zn) e selênio- e cromo-levedura. O SMO foi fornecido nos seguintes níveis de substituição do SMI: 0,125% (tratamento 2 (T2)); 0,100% (tratamento 3 (T3)); 0,075% (tratamento 4 (T4) e 0,050% (tratamento 5 (T5)).

Tabela 1 – Níveis de inclusão calculado em ppm dos microminerais nas rações experimentais

| <b>Micro mineral</b>              | <b>SMI<br/>0,100%</b> | <b>SMO<br/>0,125%</b> | <b>SMO<br/>0,100%</b> | <b>SMO<br/>0,075%</b> | <b>SMO<br/>0,050%</b> | <b>Concentração<br/>Relativa ao<br/>SMI (%)</b> |
|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---|
| <i>Crescimento e terminação 1</i> |                       |                       |                       |                       |                       |   |
| Cobre                             | 20,00                 | 6,25                  | 5,00                  | 3,75                  | 2,50                  | 31,25 a 12,5                                    |
| Cromo*                            | 0,00                  | 0,13                  | 0,10                  | 0,08                  | 0,05                  |   |
| Ferro                             | 80,00                 | 50,00                 | 40,00                 | 30,00                 | 20,00                 | 62,5 A 25                                       |
| Manganês                          | 50,00                 | 12,50                 | 10,00                 | 7,50                  | 5,00                  | 25 a 10   |
| Selênio                           | 0,40                  | 0,19                  | 0,15                  | 0,11                  | 0,08                  | 47,5 a 20                                       |
| Zinco                             | 80,00                 | 62,50                 | 50,00                 | 37,50                 | 25,00                 | 78,12 a 31,25                                   |
| <i>Terminação 2</i>               |                       |                       |                       |                       |                       |   |
| Cobre                             | 18,00                 | 5,63                  | 4,50                  | 3,38                  | 2,25                  | 31,25 a 12,5                                    |
| Cromo*                            | 0,00                  | 0,11                  | 0,09                  | 0,07                  | 0,05                  |   |
| Ferro                             | 72,00                 | 45,00                 | 36,00                 | 27,00                 | 18,00                 | 62,5 a 25                                       |
| Manganês                          | 45,00                 | 11,25                 | 9,00                  | 6,75                  | 4,50                  | 25 a 10   |
| Selênio                           | 0,36                  | 0,17                  | 0,14                  | 0,10                  | 0,07                  | 47,5 a 19,4                                     |
| Zinco                             | 72,00                 | 56,25                 | 45,00                 | 33,75                 | 22,50                 | 78,12 a 31,25                                   |
| <i>Terminação 3</i>               |                       |                       |                       |                       |                       |   |
| Cobre                             | 16,00                 | 5,00                  | 4,00                  | 3,00                  | 2,00                  | 31,25 a 12,5                                    |
| Cromo*                            | 0,00                  | 0,10                  | 0,08                  | 0,06                  | 0,04                  |   |
| Ferro                             | 64,00                 | 40,00                 | 32,00                 | 24,00                 | 16,00                 | 62,5 a 25                                       |
| Manganês                          | 40,00                 | 10,00                 | 8,00                  | 6,00                  | 4,00                  | 25 a 10   |
| Selênio                           | 0,32                  | 0,15                  | 0,12                  | 0,09                  | 0,06                  | 47,5 a 18,75                                    |
| Zinco                             | 64,00                 | 50,00                 | 40,00                 | 30,00                 | 20,00                 | 78,12 a 31,25                                   |

As rações foram formuladas para atender as exigências nutricionais dos suínos contidas em Rostagno et al. (2011), para as fases de crescimento 1 (63 aos 90 dias) (Tabela 2), terminação 1 (90 aos 110 dias) (Tabela 3), terminação 2 (110 aos 130 dias) (Tabela 4) e terminação 3 (130 aos 150 dias) (tabela 5). Os aminoácidos industriais foram adicionados, quando necessário, com objetivo de manter suas relações com a lisina no mínimo igual àsquelas propostas com base na proteína ideal para esta categoria animal, segundo estes mesmos autores. No último período experimental avaliado (130 aos 150

dias), as rações foram suplementadas com 10 ppm de ractopamina. As rações e a água foram fornecidas *ad libitum* durante todo o experimento.

Aos 150 dias de idade, 76 animais (4 animais faleceram ao longo do experimento) foram submetidos a jejum e dieta hídrica por 12 horas. Em seguida, os animais foram pesados e transportados para o frigorífico Saudali, localizado em Ponte Nova, MG. Os suínos foram mantidos em baias de espera e, após um período de descanso de 6 horas, foram encaminhados para a sala de matança, onde foram insensibilizados por eletronarcose e abatidos por sangria do tronco braquiocefálico.

Após a refrigeração das carcaças, foram coletadas 40 amostras do músculo *longissimus dorsi* (LD) para realização das análises de: pH final (pH<sub>u</sub>), perda por gotejamento (PG), perda por cozimento (PC), textura e peroxidação lipídica (TBARS). Também foram coletadas 40 caudas para posterior análise de microminerais nos ossos. Em seguida o material foi transportado, sob refrigeração, para a Universidade Federal de Viçosa, Laboratório de Tecnologia de Alimentos, onde foram imediatamente (24 h após o abate) realizadas as análises de pH<sub>u</sub>, perda por gotejamento e coloração. As 40 amostras de LD foram identificadas, embaladas a vácuo e congeladas (- 80°C) para posteriores análises de TBARS.

## 2.2 Avaliação das características de carcaça e qualidade de carne

### 2.2.1. Avaliações da carcaça dos animais vivos e na linha de abate

Foram feitas medidas ultrassônicas *in vivo* para a avaliação das características de carcaça no primeiro e último dia de cada período experimental, utilizando-se equipamento portátil de ultrassom (PigLog-105®, v. 3.1). As medidas ultrassônicas foram efetuadas do lado direito do corpo do animal nos seguintes pontos de leitura: Ponto P1: medido a 6,0 cm da linha dorso-lombar e a 6,5 cm da última costela na direção caudal, onde se obteve a espessura de toucinho ETP1; Ponto P2: medido a 6,0 cm da linha dorso-lombar e a 6,5 cm da última costela na direção cranial, onde se obteve a espessura de toucinho

ETP2; e a medida de profundidade de lombo (PFM). A partir desses valores de leitura foi determinada, por meio de equação, a porcentagem de carne do animal (PC (%)).

Tabela 2 - Composição nutricional das rações experimentais da fase de crescimento (63-90 dias)

| Ingredientes                   | Tratamentos |             |             |             |             |
|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                | 0,100%      | 0,125%      | 0,100%      | 0,075%      | 0,050%      |
|                                | <i>SMI</i>  | <i>SMO</i>  | <i>SMO</i>  | <i>SMO</i>  | <i>SMO</i>  |
| <b>Amido</b>                   | <b>0,25</b> | <b>0,00</b> | <b>0,25</b> | <b>0,50</b> | <b>0,75</b> |
| Milho moído 7.5/13%            | 673,67      | 673,67      | 673,67      | 673,67      | 673,67      |
| Farelo soja 45.5/80            | 281,00      | 281,00      | 281,00      | 281,0       | 281,0       |
| Calcário                       | 6,20        | 6,20        | 6,20        | 6,20        | 6,20        |
| Fosfato bicálcico              | 15,30       | 15,30       | 15,30       | 15,30       | 15,30       |
| Óleo de soja                   | 12,00       | 12,00       | 12,00       | 12,00       | 12,00       |
| Sal comum                      | 4,00        | 4,00        | 4,00        | 4,00        | 4,00        |
| Cloreto de Colina 60%          | 1,55        | 1,55        | 1,55        | 1,55        | 1,55        |
| L-lisina                       | 2,49        | 2,49        | 2,49        | 2,49        | 2,49        |
| Dl-metionina                   | 0,30        | 0,30        | 0,30        | 0,30        | 0,30        |
| L-treonina                     | 0,44        | 0,44        | 0,44        | 0,44        | 0,44        |
| Premix vitamínico <sup>1</sup> | 1,00        | 1,00        | 1,00        | 1,0         | 1,0         |
| <b>Mineral Inorgânico</b>      | <b>1,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> |
| <b>Mineral Orgânico</b>        | <b>0,00</b> | <b>1,25</b> | <b>1,00</b> | <b>0,75</b> | <b>0,50</b> |
| Antibiótico <sup>2</sup>       | 0,80        | 0,80        | 0,80        | 0,80        | 0,80        |
| Composição nutricional         |             |             |             |             |             |
| Proteína bruta (%)             | 18,14       | 18,14       | 18,14       | 18,14       | 18,14       |
| Cálcio (%)                     | 0,70        | 0,70        | 0,70        | 0,70        | 0,70        |
| Fósforo disponível (%)         | 0,38        | 0,38        | 0,38        | 0,38        | 0,38        |
| EM (Mcal/kg)                   | 3,30        | 3,30        | 3,30        | 3,30        | 3,30        |
| Lisina digestível (%)          | 1,04        | 1,04        | 1,04        | 1,04        | 1,04        |
| Metionina dig. (%)             | 0,30        | 0,30        | 0,30        | 0,30        | 0,30        |
| Met+Cis dig. (%)               | 0,58        | 0,58        | 0,58        | 0,58        | 0,58        |
| Treonina dig. (%)              | 0,65        | 0,65        | 0,65        | 0,65        | 0,65        |
| Triptofano dig. (%)            | 0,19        | 0,19        | 0,19        | 0,19        | 0,19        |
| Colina (%)                     | 2,00        | 2,00        | 2,00        | 2,00        | 2,00        |
| Sódio (%)                      | 0,20        | 0,20        | 0,20        | 0,20        | 0,20        |

<sup>1</sup>Composição nutricional (kg /ração): Vitamina A: 6 kUI; vit. D3: 1,5 kUI; vit. E: 15 mg; vit. K3: 1,5 mg; vit. B1: 1,35 mg; vit. B2: 4 mg; vit. B6: 2 mg; vit. B12: 0,02 mg; ácido pantotênico: 9,35 mg; niacina: 20 mg; ácido fólico: 0,6 mg. 2 0,6 kg de Amoxicilina 50% e 0,2% de Tiamulina 80%.

### 2.2.2 Avaliação do pH final ( $pH_u$ )

As medidas de pH final (24 horas após o abate) foram realizadas por medição direta, com medidor de pH portátil (*AK103*). Após o ajuste do peagâmetro com as soluções-tampão na temperatura de trabalho, foram realizadas três medições em pontos distintos do músculo *longissimus dorsi*.

Tabela 3 - Composição nutricional das rações experimentais da fase de terminação 1 (90-110 dias)

| Ingredientes                   | Tratamentos |             |             |             |             |
|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                | 0,100%      | 0,125%      | 0,100%      | 0,075%      | 0,050%      |
|                                | SMI         | SMO         | SMO         | SMO         | SMO         |
| <b>Amido</b>                   | <b>0,25</b> | <b>0,00</b> | <b>0,25</b> | <b>0,50</b> | <b>0,75</b> |
| Milho moído                    | 731,55      | 731,55      | 731,55      | 731,55      | 731,55      |
| Farelo de soja                 | 232,00      | 232,00      | 232,00      | 232,00      | 232,00      |
| Calcário calcítico             | 5,90        | 5,90        | 5,90        | 5,90        | 5,90        |
| Fosfato bicálcico              | 13,90       | 13,90       | 13,90       | 13,90       | 13,90       |
| Óleo de soja                   | 6,00        | 6,00        | 6,00        | 6,00        | 6,00        |
| Sal comum                      | 4,10        | 4,10        | 4,10        | 4,10        | 4,10        |
| Cloreto de Colina 60%          | 0,40        | 0,40        | 0,40        | 0,40        | 0,40        |
| L-lisina                       | 2,26        | 2,26        | 2,26        | 2,26        | 2,26        |
| DL-metionina                   | 0,23        | 0,23        | 0,23        | 0,23        | 0,23        |
| L-treonina                     | 0,41        | 0,41        | 0,41        | 0,41        | 0,41        |
| Premix vitamínico <sup>1</sup> | 1,00        | 1,00        | 1,00        | 1,00        | 1,00        |
| <b>Mineral Inorgânico</b>      | <b>1,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> |
| <b>Mineral Orgânico</b>        | <b>0,00</b> | <b>1,25</b> | <b>1,00</b> | <b>0,75</b> | <b>0,50</b> |
| Antibiótico <sup>2</sup>       | 1,00        | 1,00        | 1,00        | 1,00        | 1,00        |
| <b>Composição Nutricional</b>  |             |             |             |             |             |
| Proteína Bruta (%)             | 16,33       | 16,33       | 16,33       | 16,33       | 16,33       |
| Cálcio (%)                     | 0,64        | 0,64        | 0,64        | 0,64        | 0,64        |
| Fósforo disponível (%)         | 0,35        | 0,35        | 0,35        | 0,35        | 0,35        |
| EM (Mcal/kg)                   | 3,30        | 3,30        | 3,30        | 3,30        | 3,30        |
| Lisina dig. (%)                | 0,91        | 0,91        | 0,91        | 0,91        | 0,91        |
| Metionina dig. (%)             | 0,27        | 0,27        | 0,27        | 0,27        | 0,27        |
| Met+Cis dig. (%)               | 0,54        | 0,54        | 0,54        | 0,54        | 0,54        |
| Treonina dig. (%)              | 0,59        | 0,59        | 0,59        | 0,59        | 0,59        |
| Triptofano dig. (%)            | 0,16        | 0,16        | 0,16        | 0,16        | 0,16        |
| Colina (%)                     | 1,30        | 1,30        | 1,30        | 1,30        | 1,30        |
| Sódio (%)                      | 0,20        | 0,20        | 0,20        | 0,20        | 0,20        |

<sup>1</sup>Composição nutricional (kg /ração): Vitamina A: 6 kUI; vit. D3: 1,5 kUI; vit. E: 15 mg; vit. K3: 1,5 mg; vit. B1: 1,35 mg; vit. B2: 4 mg; vit. B6: 2 mg; vit. B12: 0,02 mg; ácido pantotênico: 9,35 mg; niacina: 20 mg; ácido fólico: 0,6 mg; selênio: 0,3mg <sup>2</sup>: Florfenicol 4%

### 2.2.3. Perdas por gotejamento (PG)

Para o cálculo da PG foi utilizado o método gravimétrico. As amostras de LD foram cortadas, para apresentarem formato (cúbico) e peso (60 gramas) uniformes, e pesadas em balança semi-analítica (*Toledo 9094 6 kg*). Após as amostras foram colocadas em uma rede de fibra de vidro e suspensas dentro de um recipiente plástico, sem que existisse o contato da amostra com o vasilhame. O conjunto foi mantido em ambiente refrigerado (0 a 4 °C) por 48 horas. Ao término do tempo estipulado, as amostras foram secas com papel-toalha e pesadas. A quantidade de água perdida por gotejamento foi

calculada em função do peso inicial, a partir da seguinte equação:  $PG(\%) = 100 \times \frac{Pi - Pf}{Pi}$ , onde  $Pi$  é o peso inicial e  $Pf$  é o peso final das amostras (Ramos e Gomide, 2012).

Tabela 4 - Composição nutricional das rações experimentais da fase de terminação 2 (110-130 dias)

| Ingredientes                   | Tratamentos |             |             |             |             |
|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                | 0,100%      | 0,125%      | 0,100%      | 0,075%      | 0,050%      |
|                                | SMI         | SMO         | SMO         | SMO         | SMO         |
| <b>Amido</b>                   | <b>0,35</b> | <b>0,00</b> | <b>0,25</b> | <b>0,50</b> | <b>0,75</b> |
| Milho moído 7.5/13%            | 755,34      | 755,34      | 755,34      | 755,34      | 755,34      |
| Soja farelo 45.5/80            | 212,17      | 212,17      | 212,17      | 212,17      | 212,17      |
| Calcário                       | 5,57        | 5,57        | 5,57        | 5,57        | 5,57        |
| Fosfato bicálcico              | 12,85       | 12,85       | 12,85       | 12,85       | 12,85       |
| Óleo de soja                   | 3,92        | 3,92        | 3,92        | 3,92        | 3,92        |
| Sal comum                      | 4,12        | 4,12        | 4,12        | 4,12        | 4,12        |
| Cloreto de colina 60%          | 0,28        | 0,28        | 0,28        | 0,28        | 0,28        |
| L-lisina                       | 2,09        | 2,09        | 2,09        | 2,09        | 2,09        |
| DL-metionina                   | 0,14        | 0,14        | 0,14        | 0,14        | 0,14        |
| L-treonina                     | 0,27        | 0,27        | 0,27        | 0,27        | 0,27        |
| Premix vitamínico <sup>1</sup> | 1,00        | 1,00        | 1,00        | 1,00        | 1,00        |
| <b>Mineral Inorgânico</b>      | <b>0,90</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> |
| <b>Mineral Orgânico</b>        | <b>0,00</b> | <b>1,25</b> | <b>1,00</b> | <b>0,75</b> | <b>0,50</b> |
| Antibiótico <sup>2</sup>       | 1,00        | 1,00        | 1,00        | 1,00        | 1,00        |
| Composição nutricional         |             |             |             |             |             |
| Proteína Bruta (%)             | 15,55       | 15,55       | 15,55       | 15,55       | 15,55       |
| Cálcio (%)                     | 0,60        | 0,60        | 0,60        | 0,60        | 0,60        |
| Fósforo Disponível (%)         | 0,33        | 0,33        | 0,33        | 0,33        | 0,33        |
| EM (Mcal/kg)                   | 3,30        | 3,30        | 3,30        | 3,30        | 3,30        |
| Lisina dig. (%)                | 0,85        | 0,85        | 0,85        | 0,85        | 0,85        |
| Metionina dig. (%)             | 0,26        | 0,26        | 0,26        | 0,26        | 0,26        |
| Met+Cis dig. (%)               | 0,51        | 0,51        | 0,51        | 0,51        | 0,51        |
| Treonina dig. (%)              | 0,55        | 0,55        | 0,55        | 0,55        | 0,55        |
| Triptofano dig. (%)            | 0,16        | 0,16        | 0,16        | 0,16        | 0,16        |
| Colina (%)                     | 1,20        | 1,20        | 1,20        | 1,20        | 1,20        |
| Sódio (%)                      | 0,20        | 0,20        | 0,20        | 0,20        | 0,20        |

<sup>1</sup>Composição nutricional (kg /ração): Vitamina A: 6 kUI; vit. D3: 1,5 kUI; vit. E: 15 mg; vit. K3: 1,5 mg; vit. B1: 1,35 mg; vit. B2: 4 mg; vit. B6: 2 mg; vit. B12: 0,02 mg; ácido pantotênico: 9,35 mg; niacina: 20 mg; ácido fólico: 0,6 mg. <sup>2</sup>Florfenicol 4%.

#### 2.2.4. Avaliação objetiva da cor

Após 24 h *post mortem*, as amostras de carne *in natura* foram padronizadas, com espessura de 2,54 cm. Em seguida, imediatamente após o corte, estas foram expostas ao ar por 30 minutos, em ambiente refrigerado, para a oxigenação da mioglobina na superfície da amostra (“*bloom*” time). Para análise de reflectância espectral, avaliada a

cada 10 nm por meio de uma escala de 400-700 nm, foi utilizado um colorímetro (*Minolta CR-310 Chroma Meter*), sendo as medidas realizadas em quintuplicata e em diferentes locais da superfície da amostra. A escala de cor utilizada foi a CIE  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , composta pelas coordenadas iluminante A ( $L^*$ ), índice de vermelho ( $a^*$ ) e índice de amarelo ( $b^*$ ). O índice de saturação, ou Chroma, que representa a intensidade de cor da amostra, foi calculado pela seguinte fórmula:  $\sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$ . Foi calculada ainda a relação  $a^*:b^*$ , que indica a intensidade de vermelho, e a razão de reflectância entre 630:580 nm, para estimar a proporção de oximioglobina (Apple et al., 2007). Os bifes utilizados na avaliação de cor 24 h *post mortem* foram colocados em bandejas plásticas, embalados com envoltórios de plástico e mantidos sob refrigeração durante 96 h *post mortem*, e posteriormente foram avaliados para cor, utilizando os procedimentos relatados acima.

#### 2.2.5. Perdas por cozimento (PC)

Foram coletadas 40 amostras de 2,54 cm de espessura do músculo *longissimus dorsi* (LD), sendo estas seccionadas de forma perpendicular ao eixo longitudinal do LD. Em seguida os bifes foram embalados a vácuo de forma individual, identificados, rapidamente congelados e armazenados em freezer (-80°C). Para a realização das análises, as amostras foram descongeladas em refrigeradores, até atingirem temperatura interna entre 2 a 5°C. A seguir, as amostras foram secas em papel-toalha e pesadas em balança semi-analítica (*Toledo 9094 6 kg*). O método de cocção utilizado foi o cozimento em grelha comum. Os bifes foram grelhados até que a temperatura interna alcançasse 40°C, sendo então virados, e o outro lado grelhado até a temperatura interna de 71°C. O monitoramento térmico foi realizado a partir de sondas tipo Termopar inseridas em vários pontos da amostra. Em seguida, os bifes foram retirados, esfriados à temperatura ambiente e pesados. Para o cálculo da perda por cozimento (PC) foi utilizada a seguinte equação:

$$PC (\%) = \frac{P_{crua} - P_{coz}}{P_{crua}}, \text{ onde } P_{crua} \text{ é o peso da amostra antes do cozimento e } P_{coz} \text{ é o peso da amostra após o cozimento (Ramos e Gomide, 2012).}$$

Tabela 5 - Composição nutricional das rações da fase de terminação 3 (130-150 dias)

| Ingredientes                   | Tratamentos |             |             |             |             |
|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                | 0,100%      | 0,125%      | 0,100%      | 0,075%      | 0,050%      |
|                                | SMI         | SMO         | SMO         | SMO         | SMO         |
| <b>Amido</b>                   | <b>0,45</b> | <b>0,00</b> | <b>0,25</b> | <b>0,50</b> | <b>0,75</b> |
| Milho moído                    | 726,89      | 726,89      | 726,89      | 726,89      | 726,89      |
| Farelo de soja                 | 241,00      | 241,00      | 241,00      | 241,00      | 241,00      |
| Calcário                       | 5,60        | 5,60        | 5,60        | 5,60        | 5,60        |
| Fosfato bicálcico              | 11,00       | 11,00       | 11,00       | 11,00       | 11,00       |
| Óleo de soja                   | 5,00        | 5,00        | 5,00        | 5,00        | 5,00        |
| Sal comum                      | 4,10        | 4,10        | 4,10        | 4,10        | 4,10        |
| Cloreto de colina 60%          | 0,15        | 0,15        | 0,15        | 0,15        | 0,15        |
| L-lisina                       | 2,25        | 2,25        | 2,25        | 2,25        | 2,25        |
| DL-metionina                   | 0,39        | 0,39        | 0,39        | 0,39        | 0,39        |
| L-treonina                     | 0,61        | 0,61        | 0,61        | 0,61        | 0,61        |
| Premix vitamínico <sup>1</sup> | 1,00        | 1,00        | 1,00        | 1,00        | 1,00        |
| <b>Mineral Inorgânico</b>      | <b>0,80</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> |
| <b>Mineral Orgânico</b>        | <b>0,00</b> | <b>1,25</b> | <b>1,00</b> | <b>0,75</b> | <b>0,50</b> |
| Antibiótico <sup>2</sup>       | 0,25        | 0,25        | 0,25        | 0,25        | 0,25        |
| Ractopamina 2%                 | 0,50        | 0,50        | 0,50        | 0,50        | 0,50        |
| Composição nutricional         |             |             |             |             |             |
| Proteína bruta (%)             | 16,70       | 16,70       | 16,70       | 16,70       | 16,70       |
| Cálcio (%)                     | 0,56        | 0,56        | 0,56        | 0,56        | 0,56        |
| Fósforo disponível (%)         | 0,30        | 0,30        | 0,30        | 0,30        | 0,30        |
| EM (Mcal/kg)                   | 3,30        | 3,30        | 3,30        | 3,30        | 3,30        |
| Lisina dig. (%)                | 0,93        | 0,93        | 0,93        | 0,93        | 0,93        |
| Metionina dig. (%)             | 0,29        | 0,29        | 0,29        | 0,29        | 0,29        |
| Met+Cis dig. (%)               | 0,56        | 0,56        | 0,56        | 0,56        | 0,56        |
| Treonina dig. (%)              | 0,62        | 0,62        | 0,62        | 0,62        | 0,62        |
| Triptofano dig.                | 0,17        | 0,17        | 0,17        | 0,17        | 0,17        |
| Colina (%)                     | 1,20        | 1,20        | 1,20        | 1,20        | 1,20        |
| Sódio (%)                      | 0,20        | 0,20        | 0,20        | 0,20        | 0,20        |

<sup>1</sup>Composição nutricional (kg /ração): Vitamina A: 6 kUI; vit. D3: 1,5 kUI; vit. E: 15 mg; vit. K3: 1,5 mg; vit. B1: 1,35 mg; vit. B2: 4 mg; vit. B6: 2 mg; vit. B12: 0,02 mg; ácido pantotênico: 9,35 mg; niacina: 20 mg; ácido fólico: 0,6 mg. <sup>2</sup> Lincospectin 440.

#### 2.2.6. Avaliação da textura por força de cisalhamento (FC)

Os bifes cozidos, usados para a análise de cozimento, foram utilizados para a realização das análises de textura. De cada bife foram retiradas cinco amostras (replicatas) cilíndricas, a partir de um molde com 1,27 cm de diâmetro, no sentido longitudinal das fibras musculares. O teste de textura com lâminas únicas (*Warner-Bratzler Shear Force* (WBSF)) foi o método empregado para a análise, utilizando-se equipamento e sonda apropriados. O cisalhamento foi feito perpendicularmente à orientação longitudinal das



fibras musculares de cada amostra cilíndrica, usando-se uma lâmina WB com velocidade próxima de 20 cm/min (Ramos e Gomide, 2012).

#### 2.2.7. *Análise de peroxidação lipídica (TBARS)*

As amostras foram cortadas em pequenos pedaços, com peso variando entre 9,98 a 10,02 g, sendo trituradas e homogeneizadas com 20 ml de solução de ácido tricloroacético a 10%. Imediatamente após o homogeneizado foi centrifugado a 3.000 rpm por 30 minutos, à temperatura de 4°C, sendo posteriormente filtrado. Com a utilização de uma micropipeta de 1 ml, 2 ml do filtrado foi colocado em um tubo rosqueável, sendo adicionado 2 ml de solução de ácido tiobarbitúrico a 20 mmolar. As amostras foram colocadas em banho-maria por 20 minutos, à temperatura de 97°C, sendo que uma alíquota da solução foi retirada para a realização da leitura em espectrofotômetro a 532 nm. Os valores obtidos de absorbância foram convertidos em mg de malonaldeído (MDA) por kg de carne.

#### 2.3. Avaliação da deposição de microminerais na carne e ossos

O método analítico utilizado para a avaliação da concentração de microminerais na carne e nos ossos foi o de espectrofotometria de absorção atômica (EAA) (Procedimento N° 38 – (Sindirações, 2005), que se baseia na extração, por digestão ácida ou calcinação, do elemento mineral contido na amostra na análise de sua concentração por meio da técnica de absorção atômica. Uma amostra de 5 g foi pesada em balança, com aproximação de 0,1 mg, e posteriormente calcinada em cadinho de porcelana por quatro horas a 550°C. Após a amostra foi transferida para um béquer e adicionado 50 ml de solução de ácido clorídrico 1:3. Em seguida, o material foi aquecido em placa aquecedora para que reduzisse para 1/3 do volume inicial. O conteúdo foi então transferido para um balão volumétrico e lavado com água destilada até a completa transferência da amostra, que foi homogeneizada e filtrada em papel de filtro com porosidade média. Por último, a amostra foi avaliada em espectrofotômetro.

A concentração do metal foi obtida pela seguinte equação:

$$Metal \left( \frac{mg}{kg} \right) = (C \times V \times FD) / P,$$

onde  $C$  é a concentração do elemento na solução da amostra, em mg/L;  $V$  é o volume inicial da solução da amostra, em ml;  $P$  é a massa da amostra, em gramas; e  $FD$  é o fator de diluição (volume do balão / volume da pipeta) em ml.

#### 2.4. Análises estatísticas

As análises estatísticas foram feitas utilizando-se o procedimento MIXED do programa SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC). Para avaliação das medidas ultrassônicas *in vivo* foi realizado análise de covariância, considerando como covariáveis as medições ultrassônicas obtidas no início do experimento. Os dados foram submetidos à análise de normalidade, utilizando-se o procedimento UNIVARIATE do programa SAS. Para avaliação de diferenças entre os tratamentos, os dados foram submetidos a ANOVA ao nível de 5% de significância e avaliados qualitativamente pelo teste de Tukey.

### 3. Resultados

#### 3.1. Medidas ultrassônicas *in vivo*

Não foi observado efeito ( $P > 0,05$ ) dos tratamentos na espessura de toucinho (ETP2), profundidade de músculo (PFM) e porcentagem de carne (PC) na carcaça dos suínos dos 63 a 90, 63 a 110 e 63 a 130 dias de idade. Entretanto, no período de 63 a 150 dias, a substituição de SMI por SMO influenciou ( $P < 0,05$ ) a ETP2 e a PC. Em comparação com o tratamento contendo 0,100% de SMI, a suplementação com 0,125% e 0,075% de SMO reduziu a ETP2; e a suplementação de 0,125% de SMO aumentou a PC (tabela 7).

#### 3.2. Concentração de microminerais no tecido muscular

Foi observado efeito ( $P < 0,05$ ) da substituição de SMI por diferentes níveis de SMO na concentração de Se, Cu e Mn no músculo *longissimus dorsi* (LD). A substituição

de SMO por SMI aumentou a concentração de Se no tecido muscular nos níveis de 0,125 a 0,075% de SMO. A suplementação de 0,125% de SMO aumentou a concentração de Cu no LD. Todavia foi observada redução nas concentrações de Mn no tecido muscular com a suplementação de 0,075 e 0,050% de SMO. Não foi verificado efeito ( $P>0,05$ ) dos tratamentos na concentração de Cr, Fe e Zn no LD (tabela 8).

### 3.3. Concentração de minerais no tecido ósseo

A substituição de SMI por diferentes níveis de SMO influenciou ( $P<0,05$ ) a concentração de microminerais, exceto para o Mn, nos ossos da cauda. A substituição de SMI por SMO, aos níveis de 0,100 a 0,050%, aumentou a concentração de Cr e Se nos ossos. O SMO, aos níveis de 0,125; 0,100 e 0,050%, aumentou a concentração de Cu no tecido ósseo. A substituição de SMI por SMO aumentou a concentração de Fe nos ossos. Contudo foi observada redução na concentração óssea de Zn nos níveis de 0,100; 0,075 e 0,050% com SMO (Tabela 8).

### 3.4. Qualidade de carne

Não foi observado efeito ( $P>0,05$ ) dos tratamentos no pH às 24 horas (pHu), perda por gotejamento (PG), perda por cozimento (PC), força de cisalhamento (FC) e na concentração de malonaldeído (MDA) 24 e 96 h (tabela 9). Do mesmo modo, não foi verificado efeito ( $P>0,05$ ) dos tratamentos no iluminante  $L^*$ , índice de vermelho ( $a^*$ ) e índice de amarelo ( $b^*$ ) no período de 24 horas *post mortem*. Todavia, após 96 h sob refrigeração, a substituição do SMI por SMO influenciou ( $P<0,05$ ) os parâmetros de cor da carne, sendo que a luminosidade ( $L^*$  96 h) aumentou com a suplementação de 0,050% de SMO. O  $a^*$  e  $b^*$  foram influenciados ( $P<0,05$ ) pelos tratamentos, sendo que os níveis de 0,075 e 0,050% de substituição por SMO promoveram redução dos valores destes índices. Foi observada redução ( $P<0,05$ ) do índice de saturação (Chroma) com a suplementação de SMO nos níveis de 0,075 e 0,050% de substituição do SMI. Por último, a razão de reflectância entre 630:580 nm ( $R_{630:580}$  nm) foi influenciada ( $P<0,05$ ) pelos

tratamentos, sendo que a substituição de SMI por SMO, no nível de 0,050%, reduziu o valor de R630:580 nm quando comparado com 0,100% de SMI e 0,100% SMO; os níveis de 0,125 e 0,075% de substituição proporcionaram valores que não diferiram dos demais.

Tabela 7 – Resultados das medidas ultrassônicas da espessura de toucinho no ponto 2 (ETP2), profundidade de músculo *longissimus dorsi* (PFM) e porcentagem de carne na carcaça (PC)

| Parâmetros           | Tratamentos        |                    |                     |                    |                     | CV (%) | Valor-P |
|----------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------|---------|
|                      | <i>SMI</i>         | <i>SMO</i>         | <i>SMO</i>          | <i>SMO</i>         | <i>SMO</i>          |        |         |
|                      | <i>0,100%</i>      | <i>0,125%</i>      | <i>0,100%</i>       | <i>0,075%</i>      | <i>0,050%</i>       |        |         |
| <i>63 – 90 Dias</i>  |                    |                    |                     |                    |                     |        |         |
| ETP2 (mm)            | 5,81               | 5,57               | 5,87                | 5,33               | 5,50                | 25,75  | 0,829   |
| PFM (mm)             | 38,50              | 39,00              | 37,31               | 39,80              | 39,25               | 7,97   | 0,189   |
| PC (%)               | 63,16              | 63,42              | 62,73               | 63,74              | 63,45               | 2,42   | 0,541   |
| <i>63 – 110 Dias</i> |                    |                    |                     |                    |                     |        |         |
| ETP2 (mm)            | 8,37               | 8,89               | 9,27                | 8,39               | 8,64                | 19,42  | 0,547   |
| PFM (mm)             | 46,39              | 45,84              | 46,25               | 46,15              | 48,08               | 11,88  | 0,828   |
| PC (%)               | 61,35              | 60,52              | 60,90               | 61,07              | 61,53               | 2,61   | 0,481   |
| <i>63 – 130 Dias</i> |                    |                    |                     |                    |                     |        |         |
| ETP2 (mm)            | 11,52              | 11,85              | 11,24               | 11,48              | 10,92               | 18,43  | 0,802   |
| PFM (mm)             | 51,90              | 49,83              | 52,06               | 49,49              | 50,84               | 8,00   | 0,304   |
| PC (%)               | 58,50              | 58,61              | 59,27               | 58,90              | 58,76               | 3,15   | 0,786   |
| <i>63 – 150 Dias</i> |                    |                    |                     |                    |                     |        |         |
| ETP2 (mm)            | 14,06 <sup>a</sup> | 12,16 <sup>b</sup> | 12,63 <sup>a</sup>  | 12,00 <sup>b</sup> | 12,36 <sup>ab</sup> | 19,23  | 0,033   |
| PFM (mm)             | 55,55              | 58,29              | 60,35               | 58,23              | 55,16               | 9,67   | 0,066   |
| PC (%)               | 56,77 <sup>b</sup> | 59,34 <sup>a</sup> | 58,27 <sup>ab</sup> | 58,80 <sup>a</sup> | 58,13 <sup>ab</sup> | 3,86   | 0,040   |

<sup>abcd</sup> Médias seguidas por letras diferentes são distintas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

#### 4. Discussão

Foram conduzidas poucas pesquisas onde foram avaliadas as características de carcaça, a qualidade de carne e a deposição mineral nos ossos e músculos de suínos que receberam rações suplementadas com fontes de minerais orgânicos compostas por combinações de diferentes microelementos. Neste estudo foram utilizados diferentes níveis de suplemento de fontes orgânicas composto por proteinatos, selênio- e cromo-levedura em substituição à suplemento mineral de fonte inorgânica. Ainda, como

marcadores da deposição tecidual de microminerais, foram escolhidos como órgãos para avaliação o osso da cauda e o músculo *longissimus dorsi*.

Tabela 8 - Resultados de deposição muscular e óssea de microminerais.

| Parâmetros<br>(mg/g) | n | Tratamentos         |                      |                     |                     |                     | CV,<br>% | Valor-<br>P |
|----------------------|---|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------|-------------|
|                      |   | <i>SMI</i>          | <i>SMO</i>           | <i>SMO</i>          | <i>SMO</i>          | <i>SMO</i>          |          |             |
|                      |   | <i>0,100%</i>       | <i>0,125%</i>        | <i>0,100%</i>       | <i>0,075%</i>       | <i>0,050%</i>       |          |             |
| <i>Osso</i>          |   |                     |                      |                     |                     |                     |          |             |
| Cu                   | 6 | 2,10 <sup>c</sup>   | 4,43 <sup>a</sup>    | 3,69 <sup>ab</sup>  | 2,48 <sup>c</sup>   | 2,67 <sup>bc</sup>  | 23,28    | <0,01       |
| Cr                   | 6 | 0,113 <sup>b</sup>  | 0,123 <sup>b</sup>   | 0,343 <sup>a</sup>  | 0,475 <sup>a</sup>  | 0,393 <sup>a</sup>  | 33,24    | <0,01       |
| Fe                   | 7 | 24,66 <sup>b</sup>  | 33,06 <sup>a</sup>   | 33,26 <sup>a</sup>  | 35,77 <sup>a</sup>  | 33,78 <sup>a</sup>  | 15,90    | <0,01       |
| Mn                   | 6 | 1,80                | 1,77                 | 1,60                | 1,54                | 1,64                | 20,73    | 0,643       |
| Se                   | 7 | 0,024 <sup>b</sup>  | 0,031 <sup>b</sup>   | 0,048 <sup>a</sup>  | 0,035 <sup>a</sup>  | 0,037 <sup>a</sup>  | 24,88    | <0,01       |
| Zn                   | 7 | 149,32 <sup>a</sup> | 136,32 <sup>ab</sup> | 131,56 <sup>b</sup> | 124,77 <sup>b</sup> | 119,60 <sup>c</sup> | 8,06     | <0,01       |
| <i>Músculo</i>       |   |                     |                      |                     |                     |                     |          |             |
| Cu                   | 6 | 4,09 <sup>ab</sup>  | 6,70 <sup>a</sup>    | 3,14 <sup>b</sup>   | 2,93 <sup>b</sup>   | 3,94 <sup>ab</sup>  | 29,10    | <0,01       |
| Cr                   | 6 | 0,76                | 0,95                 | 0,83                | 0,89                | 0,93                | 26,03    | 0,558       |
| Fe                   | 8 | 25,74               | 23,90                | 26,44               | 25,36               | 26,70               | 15,84    | 0,657       |
| Mn                   | 6 | 0,48 <sup>ab</sup>  | 0,58 <sup>a</sup>    | 0,46 <sup>ab</sup>  | 0,34 <sup>b</sup>   | 0,37 <sup>b</sup>   | 22,51    | <0,01       |
| Se                   | 8 | 0,29 <sup>b</sup>   | 0,38 <sup>a</sup>    | 0,34 <sup>a</sup>   | 0,38 <sup>a</sup>   | 0,29 <sup>b</sup>   | 24,79    | 0,039       |
| Zn                   | 7 | 51,66               | 51,64                | 51,61               | 48,97               | 48,12               | 7,58     | 0,263       |

<sup>abcd</sup> Médias seguidas por letras diferentes são distintas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Os resultados de deposição de microminerais nos tecidos ósseo e muscular obtidos indicam que os minerais de fontes orgânicos possuem maior biodisponibilidade do que os minerais de fontes inorgânicas. Estes dados corroboram as observações de Ashmead (2012) que os minerais de fontes orgânicas, por não sofrerem hidrólise pelas células da mucosa intestinal, mantém sua estrutura química ao serem absorvidos para o plasma, o que aumenta a estabilidade e, conseqüentemente, a absorção destes pelos tecidos corporais.

Com relação a deposição de Cr e Zn no osso, foi observado aumento do teor de Cr e redução do teor de Zn no tecido ósseo dos suínos que receberam rações contendo SMO. Contudo não foram observadas alterações nas concentrações destes minerais no tecido muscular. Conforme proposto por Yenice et al. (2015), ocorre antagonismo

metabólico entre Cr e Zn, pois o processo de absorção destes minerais é dependente de um mesmo receptor de membrana localizado na mucosa intestinal. Condizente com estas informações, os autores supracitados observaram que ratos alimentados com rações deficientes em Zn apresentaram aumento da absorção de Cr. Logo, os resultados obtidos neste estudo corroboram as observações supracitadas, e indicam também que os ossos presentes na cauda podem ser utilizados como marcadores para avaliação do metabolismo destes microminerais nos suínos.

Tabela 9 – Efeitos dos tratamentos na qualidade de carne

| Parâmetros                              | Tratamentos        |                    |                     |                     |                     | CV (%) | Valor-P |
|---|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------|---------|
|   | <i>SMI</i>         | <i>SMO</i>         | <i>SMO</i>          | <i>SMO</i>          | <i>SMO</i>          |        |         |
|   | <i>0,100%</i>      | <i>0,125%</i>      | <i>0,100%</i>       | <i>0,075%</i>       | <i>0,050%</i>       |        |         |
| pH <sub>u</sub>                         | 5,45               | 5,36               | 5,44                | 5,43                | 5,47                | 2,02   | 0,276   |
| PG, %                                   | 8,62               | 8,67               | 9,59                | 9,00                | 7,78                | 6,40   | 0,213   |
| PC, %                                   | 28,75              | 27,52              | 28,86               | 27,97               | 28,87               | 17,02  | 0,456   |
| FC, kg                                  | 6,41               | 5,86               | 5,69                | 5,92                | 6,97                | 24,19  | 0,469   |
| <i>Iluminante L*</i><br>24 h            | 45,47              | 46,28              | 46,30               | 45,60               | 45,75               | 4,45   | 0,884   |
| <i>Índice a*</i> 24 h                   | 8,34               | 8,41               | 8,57                | 8,54                | 8,19                | 13,45  | 0,962   |
| <i>Índice b*</i> 24 h                   | 14,27              | 15,52              | 15,01               | 15,00               | 15,30               | 15,12  | 0,811   |
| <i>a*:b*</i> <sup>1</sup> 24 h          | 0,466              | 0,461              | 0,439               | 0,422               | 0,429               | 15,36  | 0,083   |
| <i>Chroma</i> <sup>2</sup> 24 h         | 15,77 <sup>b</sup> | 17,10 <sup>a</sup> | 16,41 <sup>ab</sup> | 16,31 <sup>ab</sup> | 16,68 <sup>ab</sup> | 6,45   | <0,01   |
| <i>R630:580 nm</i> <sup>3</sup><br>24 h | 2,28 <sup>a</sup>  | 2,17 <sup>ab</sup> | 2,08 <sup>bc</sup>  | 2,00 <sup>c</sup>   | 2,10 <sup>bc</sup>  | 7,62   | <0,01   |
| <i>Iluminante L*</i><br>96 h            | 56,33 <sup>a</sup> | 57,95 <sup>a</sup> | 57,83 <sup>a</sup>  | 56,86 <sup>a</sup>  | 59,72 <sup>b</sup>  | 5,19   | <0,01   |
| <i>Índice a*</i> 96 h                   | 8,15 <sup>a</sup>  | 7,78 <sup>ab</sup> | 7,99 <sup>a</sup>   | 7,41 <sup>b</sup>   | 7,05 <sup>b</sup>   | 12,91  | <0,01   |
| <i>Índice b*</i> 96 h                   | 17,20 <sup>a</sup> | 17,21 <sup>a</sup> | 17,27 <sup>a</sup>  | 16,72 <sup>b</sup>  | 16,65 <sup>b</sup>  | 4,16   | <0,01   |
| <i>a*:b*</i> <sup>1</sup> 96 h          | 0,476 <sup>a</sup> | 0,453 <sup>a</sup> | 0,463 <sup>a</sup>  | 0,445 <sup>a</sup>  | 0,425 <sup>b</sup>  | 14,19  | 0,018   |
| <i>Chroma</i> <sup>2</sup> 96 h         | 19,03 <sup>a</sup> | 18,92 <sup>a</sup> | 19,06 <sup>a</sup>  | 18,32 <sup>b</sup>  | 18,12 <sup>b</sup>  | 3,92   | <0,01   |
| <i>R630:580 nm</i> <sup>3</sup><br>96 h | 1,84 <sup>a</sup>  | 1,82 <sup>ab</sup> | 1,85 <sup>a</sup>   | 1,75 <sup>ab</sup>  | 1,70 <sup>b</sup>   | 10,09  | <0,01   |
| MDA 24h                                 | 0,211              | 0,245              | 0,255               | 0,234               | 0,243               | 18,29  | 0,446   |
| MDA 96 h                                | 0,488              | 0,386              | 0,381               | 0,346               | 0,343               | 35,15  | 0,116   |

<sup>abcd</sup> Médias seguidas por letras diferentes são distintas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

<sup>1</sup>Valores maiores indicam uma cor mais avermelhada.

<sup>2</sup>Valores maiores indicam cor mais acentuada.

<sup>3</sup>Estimativa da concentração de oximioglobina no músculo (valores próximos a 1: concentração total de metamioglobina; valores próximos a 4: concentração total de oximioglobina).

A redução da espessura de toucinho e o aumento da proporção de carne na carcaça obtidos neste estudo, ao se comparar a substituição total de SMI, que não continha Cr, com SMO, que continha níveis decrescentes de Cr, podem estar ligados à utilização de cromo-levedura no SMO. Conforme observado por Matthews et al. (2001), o cromo é um mineral com potencial efeito anabólico, já que atua no metabolismo dos carboidratos por incrementar a ação da insulina no organismo animal. Todavia a suplementação de SMO alterou os parâmetros de carcaça somente no período de 63 aos 150 dias, não sendo observadas diferenças significativas dos 63 aos 130 dias de idade. Estas informações estão de acordo com as fornecidas por Mooney e Cromwell, (1997), de que seria necessário um longo período de ação para que o cromo atue como modificador da qualidade de carcaça nos suínos.

Ainda relativamente ao efeito do Cr nas características de carcaça, destaca-se que no período de 130 aos 150 dias de idade foi utilizada ractopamina nas rações experimentais, o que pode indicar interação positiva entre os beta-adrenérgicos e o cromo nos parâmetros de carcaça avaliados. De fato, a insulina leva à maior absorção de aminoácidos, redução da degradação proteica e aumento da síntese de proteína em diversos tecidos corporais; mas acarreta também em maior síntese de lipídeos e redução da lipólise no tecido adiposo (Nelson, 2013). Por outro lado, a ractopamina, ao estimular a ação da enzima adenilato ciclase (PKA), leva a ativação da lipase hormônio sensível e inibição da acetil-CoA carboxilase o que aumenta, respectivamente, a lipólise e reduz a síntese de ácidos glaxos no tecido adiposo (Hossner, 2005). Portanto, o efeito sinérgico entre o cromo e os beta-adrenérgicos pode levar a maior captação de aminoácidos e de carboidratos e subsequente crescimento do músculo, com concomitante redução da lipogênese e aumento da lipólise no tecido adiposo.

A substituição de SMI por SMO aumentou a concentração de Cu nos ossos (0,125 e 0,100% de SMO) e músculo (0,125% de SMO). Conforme observado por Opsahl et al. (1982) o cobre é constituinte da enzima lisil oxidase, que catalisa a formação de ligações entre o colágeno e a elastina, contribuindo assim para a manutenção da integridade do tecido ósseo e conjuntivo. Condizente com estas informações, a suplementação de Cu, Mn e Zn sob a forma orgânica aumentou a força para a quebra dos ossos e reduziu o escore de lesões podais em frangos de corte (Manangi et al., 2012). Logo, os maiores níveis de SMO podem possibilitar melhoria de desempenho, por reduzir a incidência de lesões ósseas nas fases de crescimento e terminação, além de reduzir a condenação de carcaças por sangramentos no tecido muscular e rompimento de vísceras.

Quanto ao Se, este é acumulado nos tecidos corporais de acordo com sua concentração nas rações, tendo variação de resultados entre diferentes fontes orgânicas (Suttle, 2010). Neste estudo foi demonstrado que o SMO, sob a forma de selênio-levedura, aumenta a concentração de Se nos diferentes tecidos corporais; e que a redução dos níveis de SMO (0,05% para osso e 0,075% para músculo), aumentou a concentração de Se tecidual em relação ao SMI. Resultados semelhantes foram obtidos por Liao et al. (2012), que observaram aumento da concentração de Se no músculo do peito de frangos alimentados com rações suplementadas com selênio-levedura e mantidos em estresse por calor.

A utilização de beta-adrenérgicos, no último período experimental avaliado, pode ter influenciado negativamente os resultados de pHu e PG, o que estaria de acordo com as observações de Almeida et al. (2012) e Webster et al. (2007), que suínos terminados que receberam rações contendo ractopamina apresentaram carne ácida. Sabe-se que a ractopamina estimula o crescimento muscular por meio da hipertrofia de fibras musculares glicolíticas, que possuem menor capilaridade, ou seja, têm suprimento



sanguíneo limitado e, conseqüentemente, deficiência na remoção de lactato produzido no período *post mortem* (Solomon et al., 1997).

Com relação à FC, que em média correspondeu a 6,17 kg, os valores estão acima daqueles observados por Leach et al. (1996) ao avaliarem o efeito negativo do gene halotano sobre a qualidade de carne dos suínos. Animais portadores desse gene possuem uma maior tendência a desenvolverem carnes ácidas. De acordo Ramos e Gomide (2012), carnes com baixa capacidade de retenção de água apresentam maior FC, já que a maciez se relaciona positivamente com a concentração de água intracelular. Ainda outro fator importante para a maciez da carne é o pH, sendo que um pH<sub>u</sub> muito baixo é indicativo de maior atividade da calpastatina, que por sua vez inibe a calpaína, que é a proteína que atua na proteólise muscular no período *post mortem*. Portanto, os valores de FC estão correlacionados com aqueles obtidos para pH<sub>u</sub> e PG.

Quanto a relação entre Mn e cor, neste estudo foi observado que a redução dos níveis de Mn contidos no músculo alterou a cor da carne, sendo que o menor nível de suplementação de Mn orgânico teve os menores valores de a\*, b\*, a\*:b\*, Chroma e R630:580 nm após 96 horas de refrigeração. A piora observada na qualidade da carne com a redução de Mn orgânico pode estar relacionada com a redução da atividade da superóxido dismutase tipo 2 (SOD2), de ação mitocondrial, e que converte superóxidos em H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>. Condizente com estes resultados, a adição de Mn orgânico em rações de suínos na fase de terminação melhorou os parâmetros de cor da carne (a\* e Chroma) (Sawyer et al., 2007). E Ma et al. (2014) observaram aumento das concentrações de Mn nos ossos e maior atividade da SOD2 no fígado de peixes alimentados com rações contendo Mn quelatado (Mn-AA). De forma similar, Bai et al. (2014) observaram que a expressão da SOD2 é dependente da concentração de Mn nas rações.

Em diversos estudos foi observado que a peroxidação lipídica acarreta em piora dos parâmetros de cor da carne (Lund et al., 2011). Apesar de não ter sido observado diferença

significativa, a suplementação de 0,05% de SMO, em comparação com 0,100% de SMI, acarretou em uma redução de 29,71% na concentração de malonaldeído na carne após 96 h de refrigeração. A ausência de efeito significativo neste parâmetro pode ser explicada pelo alto coeficiente de variação observado entre os dados (35,15%).

## 5. Conclusão

A substituição de 0,100% de SMI por 0,125% de SMO, sob a forma de proteinatos, selênio- e cromo-levedura, em rações para suínos nas fases de crescimento e terminação, reduz ETP2; aumenta PC; e aumenta a concentração dos minerais Se, Cu e Mn no músculo e nos ossos. A suplementação com Cr, em associação com beta-adrenérgicos, acarreta em redução da ETP2 e aumento do PC na carcaça dos suínos.

## 6 – Referências bibliográficas

- ALMEIDA, V.V.; NUÑEZ, A.J.C.; MIYADA, V.S. Ractopamine as a metabolic modifier feed additive for finishing pigs: a review. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.55, n.3, p.445–56, 2012.
- AO, T.; PIERCE, J. The replacement of inorganic mineral salts with mineral proteinates in poultry diets. **World's Poultry Science Journal**, v.69, n.01, p.5–16, 2013.
- APPLE, J.K.; WALLIS-PHELPS, W.A.; MAXWELL, C.V.; RAKES, L.K.; SAWYER, J.T.; HUTCHISON, S.; FAKLERT, T.M. Effect of supplemental iron on finishing swine performance, carcass characteristics, and pork quality during retail display. **Journal of Animal Science**, v.85, p.737–745, 2007.
- ASHMEAD, H.D. 2012. Amino Acid Chelation in Human and Animal Nutrition. CRC Press, Boca Raton.
- BAO, Y.M.; CHOCT, M.; IJI, P.A.; BRUERTON, K. Effect of organically complexed copper, iron, manganese, and zinc on broiler performance, mineral excretion, and

- accumulation in tissues. **Journal of Applied Poultry Research**, v.16, n.3, p.448–55, 2007.
- CREECH, B.L.; SPEARS, J.W.; FLOWERS, W.L.; HILL, G.M.; LLOYD, K.E.; ARMSTRONG, T.A.; ENGLE, T.E. Effect of dietary trace mineral concentration and source (inorganic vs. chelated) on performance, mineral status, and fecal mineral excretion in pigs from weaning through finishing. **Journal of Animal Science**, v.82, n.7, p.2140–47, 2004.
- HOSSNER, K.L. 2005. **Hormonal regulation of farm animal growth**, 1<sup>a</sup>. ed. CABI Publishing, Oxfordshire.
- LEACH, L.M.; ELLIS, M.; SUTTON, D.S.; MCKEITH, F.K.; WILSON, E.R. The growth performance, carcass characteristics, and meat quality of halothane carrier and negative pigs. **Journal of Animal Science**, v.74, n.5, p.934-943, 1996.
- LIAO, X.; LU, L.; LI, S.; LIU, S.; ZHANG, L.; WANG, G.; LI, A.; LUO, X. Effects of selenium source and level on growth performance, tissue selenium concentrations, antioxidation, and immune functions of heat-stressed broilers. **Biological Trace Element Research**, v.150, p.158–165, 2012.
- LIU, B.; XIONG, P.; CHEN, N.; HE, J.; LIN, G.; XUE, Y.; LI, W.; YU, D. Effects of replacing of inorganic trace minerals by organically bound trace minerals on growth performance, tissue mineral status, and fecal mineral excretion in commercial grower-finisher pigs. **Biological Trace Element Research**, v.173, n.2, p.316-324, 2016.
- LÓPEZ-ALONSO, M. Trace minerals and livestock: not too much not too little. **ISRN Veterinary Science**, v.2012, p.1-18, 2012.
- LUND, M.N.; HEINONEN, M.; BARON, C.P.; ESTÉVEZ, M. Protein oxidation in muscle foods: a review. **Molecular Nutrition & Food Research**, v.55, p.83–95, 2011.

- MANANGI, M.K.; VAZQUEZ-AÑON, M.; RICHARDS, J.D.; CARTER, S.; BURESH, R.E.; CHRISTENSEN, K.D. Impact of feeding lower levels of chelated trace minerals versus industry levels of inorganic trace minerals on broiler performance, yield, footpad health, and litter mineral concentration. **The Journal of Applied Poultry Research**, v.21, p.881–890, 2012.
- MATTHEWS, J.O.; SOUTHERN, L.L.; FERNANDEZ, J.M.; PONTIF, J.E.; BIDNER, T.D.; ODGAARD, R.L. Effect of chromium picolinate and chromium propionate on glucose and insulin kinetics of growing barrows and on growth and carcass traits of growing-finishing barrows. **Journal of Animal Science**, v.79, n.8, p.2172–78, 2001.
- MOONEY, K.W.; CROMWELL, G.L. Efficacy of chromium picolinate and chromium chloride as potential carcass modifiers in swine. **Journal of Animal Science**, v.75, p.2661–2671, 1997.
- Nelson, C. 2013. Lehninger's principles of biochemistry. Journal of Chemical Information and Modeling. doi:10.1017/CBO9781107415324.004
- OPSAHL, W.; ZERONIAN, H.; ELLISON, M.; LEWIS, D.; RUCKER, R.B.; RIGGINS, R.S. Role of copper in collagen cross-linking and its influence on selected mechanical properties of chick bone and tendon. **The Journal of Nutrition**, v.112, p.708–16, 1982.
- RAMOS, E.M., GOMIDE, L.A.M., 2012. Avaliação da Qualidade de Carnes: Fundamentos e metodologia., 2<sup>a</sup>. ed. Editora UFV, Viçosa.
- RICHARDS, J.D.; ZHAO, J.; HARREIL, R.J.; ATWELL, C.A.; DIBNER, J.J. Trace mineral nutrition in poultry and swine. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v.23, n.11, p.1527–1534, 2010.
- SAWYER, J.T.; TITTOR, A.W.; APPLE, J.K.; MORGAN, J.B.; MAXWELL, C.V.; RAKES, L.K.; FAKLER, T.M. Effects of supplemental manganese on performance of growing-finishing pigs and pork quality during retail display. **Journal of Animal**

**Science**, v.85, p.1046–1053, 2007.

SINDIRAÇÕES. 2005. *Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal 2005*. Disponível em: <<http://books.google.com.br/books?id=sJOXMQAACAAJ>>.

SUTTLE, N.F., 2010. Mineral nutrition of livestock: Fourth edition, Mineral Nutrition of Livestock: Fourth Edition. doi:10.1079/9781845934729.0000

WEBSTER, M.J.; GOODBAND, R.D.; TOKACH, M.D.; NELSEN, J.L.; DRITZ, S.S.; UNRUH, J.A.; BROWN, K.R.; REAL, D.E.; DEROUCHÉY, J.M.; WOODWORTH, J.C.; GROESBECK, C.N.; MARSTELLER, T.A. Interactive effects between ractopamine hydrochloride and dietary lysine on finishing pig growth performance, carcass characteristics, pork quality, and tissue accretion. **The Professional Animal Scientist**, v.23, n.6, p.597–611, 2007.

YENICE, E.; MIZRAK, C.; GÜLTEKIN, M.; ATIK, Z.; TUNCA, M. Effects of organic and inorganic forms of manganese, zinc, copper, and chromium on bioavailability of these minerals and calcium in late-phase laying hens. **Biological Trace Element Research**, v.167, n.2, p.300–307, 2015.

## CONCLUSÃO

A substituição de 0,100% do SMI por 0,050% de SMO, sob a forma de proteinatos e selênio-levedura, em rações para suínos nas fases de crescimento e terminação, possibilita redução da suplementação dos microminerais nas rações na ordem de 87,50% de Cu; 75,00% de Fe; 90,00% de Mn; 80,00% de Se e 68,25% de Zn, sem alterar o desempenho; e reduz a excreção fecal na ordem de 69,13% de Cu; 44,40% de Fe; 59,30% de Mn; 76,44% de Se e 59,65% de Zn. Ainda a suplementação de diferentes níveis de cromo-levedura não altera o desempenho e a excreção fecal de Cr dos suínos na fase de crescimento e terminação. A substituição de 0,100% de SMI por 0,125% de SMO, sob a forma de proteinatos, selênio- e cromo-levedura, em rações para suínos nas fases de crescimento e terminação, reduz a espessura de toucinho (ETP2); aumenta a porcentagem de carne (PC); e aumenta a concentração dos minerais Se, Cu e Mn no músculo e nos ossos. Também a suplementação com Cr, em associação com beta-adrenérgicos, acarreta em redução de ETP2 e aumento de PC na carcaça dos suínos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AO, T.; PIERCE, J. The replacement of inorganic mineral salts with mineral proteinate in poultry diets. **World's Poultry Science Journal**, v.69, n.01, p.5–16, 2013.
- ASHMEAD, H.D. 2012. Amino Acid Chelation in Human and Animal Nutrition. CRC Press, Boca Raton.
- BAO, Y.M.; CHOCT, M.; IJI, P.A.; BRUERTON, K. Effect of organically complexed copper, iron, manganese, and zinc on broiler performance, mineral excretion, and accumulation in tissues. **Journal of Applied Poultry Research**, v.16, n.3, p.448–55, 2007.
- CREECH, B.L.; SPEARS, J.W.; FLOWERS, W.L.; HILL, G.M.; LLOYD, K.E.; ARMSTRONG, T.A.; ENGLE, T.E. Effect of dietary trace mineral concentration and source (inorganic vs. chelated) on performance, mineral status, and fecal mineral excretion in pigs from weaning through finishing. **Journal of Animal Science**, v.82, n.7, p.2140–47, 2004.
- LIU, B.; XIONG, P.; CHEN, N.; HE, J.; LIN, G.; XUE, Y.; LI, W.; YU, D. Effects of replacing of inorganic trace minerals by organically bound trace minerals on growth performance, tissue mineral status, and fecal mineral excretion in commercial grower-finisher pigs. **Biological Trace Element Research**, v.173, n.2, p.316-324, 2016.
- LÓPEZ-ALONSO, M. Trace minerals and livestock: not too much not too little. **ISRN Veterinary Science**, v.2012, p.1-18, 2012.
- RICHARDS, J.D.; ZHAO, J.; HARREIL, R.J.; ATWELL, C.A.; DIBNER, J.J. Trace mineral nutrition in poultry and swine. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v.23, n.11, p.1527–1534, 2010.
- YENICE, E.; MIZRAK, C.; GÜLTEKIN, M.; ATIK, Z.; TUNCA, M. Effects of organic and inorganic forms of manganese, zinc, copper, and chromium on bioavailability of these minerals and calcium in late-phase laying hens. **Biological Trace Element Research**, v.167, n.2, p.300–307, 2015.