

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
PROGRAMA DE DOUTORADO INTEGRADO EM ZOOTECNIA**

**SUPLEMENTAÇÃO DE MINERAIS COMPLEXADOS A AMINOÁCIDOS EM
DIETAS DE GALINHAS POEDEIRAS DE 78 A 98 SEMANAS DE IDADE**

CLARIANA SILVA SANTOS

**RECIFE-PE
JULHO-2018**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
PROGRAMA DE DOUTORADO INTEGRADO EM ZOOTECNIA**

**SUPLEMENTAÇÃO DE MINERAIS COMPLEXADOS A AMINOÁCIDOS EM
DIETAS DE GALINHAS POEDEIRAS DE 78 A 98 SEMANAS DE IDADE**

CLARIANA SILVA SANTOS
(Zootecnista)

**RECIFE-PE
JULHO-2018**

CLARIANA SILVA SANTOS

**SUPLEMENTAÇÃO DE MINERAIS COMPLEXADOS A
AMINOÁCIDOS EM DIETAS DE GALINHAS POEDEIRAS DE 78
A 98 SEMANAS DE IDADE**

Tese apresentada ao Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia da Universidade Federal Rural de Pernambuco, da qual participam a Universidade Federal da Paraíba e Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

Área de concentração: Nutrição Animal

Comitê de Orientação:

Prof. Dr. Carlos Bôa-Viagem Rabello - **Orientador principal**

Prof^ª. Dr^ª. Maria do Carmo M.M. Ludke

Prof^ª. Dr^ª. Mércia Rodrigues Barros

**RECIFE-PE
JULHO-2018**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

S237s Santos, Clariana Silva
Suplementação de minerais complexados a aminoácidos em dietas de galinhas poedeiras de 78 a 98 semanas de idade / Clariana Silva Santos. – Recife, 2018.
87 f.: il.

Orientador(a): Carlos Bôa-Viagem Rabello.

Coorientador(a): Maria do Carmo M.M. Ludke, Mércia Rodrigues Barros.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Recife, BR-PE, 2018.

Inclui referências.

1. Aves domésticas - Alimentação e rações 2. Nutrição animal 4. Minerais na nutrição animal I. Rabello, Carlos Bôa-Viagem, orient. II. Ludke, Maria do Carmo M.M., coorient. III. Barros, Mércia Rodrigues, coorient. IV. Título

CDD 636

CLARIANA SILVA SANTOS

**SUPLEMENTAÇÃO DE MINERAIS COMPLEXADOS A AMINOÁCIDOS EM
DIETAS DE GALINHAS POEDEIRAS DE 78 A 98 SEMANAS DE IDADE**

Tese defendida e aprovada pela Comissão Examinadora em 31 de julho de 2018

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Carlos Bôa-Viagem Rabello
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Presidente da Banca

Prof. Dr. Wilson Moreira Dutra Júnior
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Danilo Teixeira Cavalcante
Universidade Federal Rural de Pernambuco
(Unidade Acadêmica de Garanhuns)

Prof^a. Dr^a. Cláudia da Costa Lopes
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. Cláudio José de Oliveira Parro
Universidade Federal de Sergipe

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

CLARIANA SILVA SANTOS - filha de Valdemir Nunes dos Santos e Maria do Carmo Silva Santos, nasceu no dia 30 de março de 1982 na cidade de Teixeira, no Estado de Paraíba, e cresceu no Pajeú das Flores, Itapetim-PE. Prestou vestibular para o curso de Zootecnia na Universidade Federal da Paraíba em 2007, onde formou-se em fevereiro de 2012. No mesmo ano ingressou no Curso de Mestrado em Zootecnia da referida Universidade, Área de concentração Nutrição de Não-Ruminantes, concluindo-o em fevereiro de 2014. Em agosto deste mesmo ano ingressou no Programa de Doutorado Integrado de Zootecnia, do qual participam a Universidade Federal Rural de Pernambuco, Universidade Federal do Ceará e Universidade Federal da Paraíba, área de concentração Nutrição Animal, concluindo o curso em julho de 2018.

*Aos meus pais, Valdemir Nunes dos Santos e Maria do Carmo Silva Santos por todo
exemplo de vida e ensinamentos.*

Dedico

Ofereço,

Aos meus pais, Valdemir Nunes dos Santos e Maria do Carmo Silva Santos, pela educação que recebi, pelo amor incondicional que sempre me deram, por me apoiarem em meus sonhos, me incentivarem e permitirem meus estudos.

Aos meus irmãos, Valdemir Júnior, Hugo Cezar e Henrique Cleber, por toda cumplicidade e amor.

Às minhas cunhadas, Rosângela Santos e Leandra Henrique, pelo carinho e pelos presentes maravilhosos para nossas vidas: “sobrinhos”.

Aos meus sobrinhos, Gustavo Santos, Maria Luíza e João Miguel, pelo amor sincero e por ser fonte de vida, alegria e inspiração em nossas vidas.

Agradeço a todos vocês por serem meu alicerce familiar.

Com muito amor e gratidão,

Senhor, ensina-nos a receber as bênçãos do serviço! Ainda não sabemos, amado Jesus, compreender a extensão do trabalho que nos confiaste! Permite, Senhor, que possamos formar em nossa alma a convicção de que a Obra do Mundo te pertence, a fim de que a vaidade não se insinue em nossos corações com as aparências do bem!

“Os mensageiros”

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Deus, pela honra de viver, pela vontade em mim posta em voar cada vez mais alto;

Aos meus pais, Valdemir Nunes dos Santos e Maria do Carmo Silva Santos, pela vida;

Aos meus irmãos, tão amados, que, mesmo distantes, sempre se fizeram presentes em minha vida: Valdemir Júnior, Hugo Cezar e Henrique Cleber;

Aos meus pequenos “sobrinhos”, pela fonte de amor inesgotável e por toda alegria: Gustavo Santos, Maria Luíza e João Miguel;

Aos meus orientadores, Carlos Bôa-Viagem Rabello e Maria do Carmo Mohaupt Marques Ludke, pela atenção e pelo carinho durante toda caminhada;

Ao Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia da UFRPE, e a todo corpo docente, pela oportunidade de ser mais uma aprendiz;

Aos meus professores, competentes e absolutamente indispensáveis à minha formação profissional e humana;

À Capes, pela concessão da bolsa e apoio financeiro;

À empresa Zinpro Corporation, pelo financiamento da pesquisa na pessoa de Alba Fireman;

À Estação Experimental de Pequenos Animais de Carpina (EEPAC), por disponibilizar as instalações para execução do experimento. Em especial aos meus amigos Armindo, Fabiana Aleixo, Elifas Soares e Rivaldo, por todo apoio e amizade e contribuição durante a pesquisa;

À secretária do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Cynthia Marino, sempre com um sorriso no rosto, seja qual fosse o problema;

Meus agradecimentos pela contribuição da banca do exame de qualificação (Wilson Moreira, Fernando Guilherme, Maria do Carmo e Marcos José) e pela participação dos membros da banca examinadora da defesa (Wilson Moreira, Cláudio José, Danilo Cavalcante e Cláudia da Costa);

Aos meus companheiros de jornada, Juliane Viapiana, Jussiede Silva, Júlia Barros, Almir Silva, Sandra Gasparini, Rayane Nunes, Lidiane Custódio, Carol Ferreira Elayne Lopes, Maria Rhayanna, Lucas Delano, Camilla Costa e Jaqueline Silva;

Meu querido amigo, Heraldo Oliveira, por todo carinho, atenção, pelas incontáveis vezes que esteve pronto para me ajudar, incentivar, pelas gargalhadas, pelo cuscuz fofinho e, acima de tudo, por essa amizade ímpar. Você, tornou minha qualificação e defesa da tese bem mais fácil;

À minha companheira desta jornada de pós-graduação em Zootecnia, a amiga/irmã Ana Barros, que me acompanha há um bom tempo. Obrigada por sua amizade, companheirismo e por tudo que dividimos durante esses seis anos de amizade;

À amiga/Irmã Rafaela, companheira desta jornada no Recife, por me ajudar nos trabalhos de campo, pelas gargalhadas, por uma amizade verdadeira, por fazer da sua casa o meu lar. Aos seus pais, Ricardo e Edna por se preocuparem comigo, por abrirem sua casa pra mim, serei eternamente grata por tudo;

À amiga Rayanne, que tive a satisfação de dividir apartamento, por todo carinho, pelas gargalhadas, pelo “cháfé” durante as madrugadas;

À amiga/anjo Luana Tamires, que conheci em Carpina-PE durante meu trabalho de campo e que hoje é um anjo em minha vida. Obrigada por sua amizade, carinho, companheirismo e por tudo que dividimos durante esses dois anos;

Ao grupo “Recatadas e do Lar e Irmãs”, por todo amor, por tornar meus dias e madrugadas melhores, bem mais alegres: Rosa, Suely, Soledade, Sônia, Jacely, Iza, Juliana, Marina;

Ao grupo “os chegados”, por tornar minha estadia em Recife bem mais alegre: Felipe José, Heraldo, Carlos Vitor e Ana Barros;

A todos aqueles que de forma direta ou indireta contribuíram durante o meu doutorado, embora não mencionados e não menos importantes, agradeço.

Só eu sei cada passo por mim dado nessa estrada que é a vida, passei coisas que até mesmo Deus duvida, fiquei triste, capionga, aperreada, porém nunca me senti desmotivada, me agarrava sempre numa mão amiga, e de forças minha alma era munida pois do céu a voz de Deus dizia assim: "- Suba o queixo, meta os pés, confie em mim, vá pra luta que eu cuido das feridas".

Adaptado: Poesia com rapadura. Bráulio Bessa

Sumário

Página

LISTA DE FIGURAS	xv
ABSTRACT	xix
CAPÍTULO I.....	23
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	24
Minerais	24
Principais microminerais para aves e suas funções	24
Zinco (Zn).....	24
Cobre (Cu).....	25
Manganês (Mn).....	27
Selênio (Se).....	28
Ferro (Fe).....	29
Minerais complexados a moléculas orgânicas	30
Metabolismo dos Minerais.....	32
Digestão	33
Absorção dos Minerais	35
Mecanismos de absorção dos minerais.....	36
Absorção transcelular do zinco (Zn) nos enterócitos.....	37
Transporte de um quelato de aminoácido pela membrana	38
Excreção Mineral.....	41
CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
CAPÍTULO II	52
RESUMO	53
INTRODUÇÃO	56
MATERIAIS E MÉTODOS	57
Local.....	57
Aves e instalações.....	57
Delineamento e dietas experimentais	58
Desempenho.....	60
Qualidade dos ovos.....	61
Análises Estatísticas.....	61
RESULTADOS.....	61
DISCUSSÃO.....	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
CAPÍTULO III.....	70
INTRODUÇÃO	73
MATERIAIS E MÉTODOS	74
Local.....	74
Aves e instalações.....	74
Delineamento e dietas experimentais	75
Desempenho	76
Qualidade dos ovos.....	77
Análises Estatísticas.....	77

RESULTADOS.....	78
DISCUSSÃO.....	80
CONCLUSÃO	83
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Página

Figura 1 Absorção Transcelular do zinco	38
Figura 3 Transporte de um metal aminoácido pela membrana.....	39

Capítulo 2

Página

Figura 1 Variação média da temperatura máxima e mínima (T, °C) e Umidade relativa do ar (UH, %) durante o período experimental.....	58
--	----

LISTA DE TABELAS

Capítulo II

	Página
Tabela 1 Descrição detalhada dos tratamentos	59
Tabela 2 Composição da dietas experimental.....	60
Tabela 3 Desempenho de poedeiras com 78 a 98 semanas de idade alimentados com diferentes fontes de minerais.....	62
Tabela 4 Peso dos constituintes dos ovos de poedeiras com 78 a 98 semanas de idade alimentadas com diferentes fontes de minerais	63

Capítulo III

	Página
Tabela 1 Descrição detalhada dos tratamentos	74
Tabela 2 Composição das dietas experimentais.....	75
Tabela 3 Desempenho de poedeiras com 78 a 98 semanas de idade alimentadas com diferentes fontes de Zinco, Cobre e Manganês	77
Tabela 4 Peso dos constituintes dos ovos de poedeiras com 78 a 98 semanas de idade alimentadas com diferentes fontes de Zinco, Cobre e Manganês	78

RESUMO GERAL

Fontes de microminerais complexados a moléculas orgânicas têm melhorado a absorção e o desempenho pelas aves. A pesquisa foi conduzida para avaliar diferentes fontes e os efeitos da suplementação dos microminerais Zinco (Zn), Manganês (Mn), Cobre (Cu), Ferro (Fe) e Selênio (Se) quelatados, associados com fontes inorgânicas sobre o desempenho e qualidade interna e externa dos ovos de galinhas poedeiras. A pesquisa foi desenvolvida nas instalações de Pesquisa da Estação Experimental de Pequenos Animais de Carpina (EEPAC), localizada no município de Carpina-PE, Brasil. A pesquisa foi dividida em dois experimentos em que foram utilizadas novecentas galinhas poedeiras (Lohmann White) durante o período de 78 a 98 semanas de idade. No primeiro experimento as aves foram distribuídas de acordo com delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro tratamentos com dez aves por repetição. Os tratamentos consistiram em quatro dietas, com a substituição total da fonte mineral inorgânica por fonte de microminerais complexado a aminoácidos (MCAA) com redução do níveis de suplementação em 30, 50 e 60%, respectivamente, sendo: T1 – Dieta-controle com apenas fontes de minerais inorgânicos; T2: Dieta suplementada com MCAA e redução de 30% nos níveis dos minerais; T3: Dieta suplementada com MCAA e redução de 50% nos níveis dos minerais e T4: Dieta suplementada com MCAA e redução de 60% nos níveis dos minerais. Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste Tukey ($P < 0,05$). A suplementação do mineral MCAA aumentou significativamente a produção, peso e massa de ovo, tendo o T4 com redução de 60% nos níveis dos minerais os melhores resultados quando comparado às demais dietas, sendo que a dieta-controle apresentou as menores médias. As aves alimentadas com MCAA apresentaram melhor conversão por massa e por dúzia de ovos; a dieta T4 com redução de 60% apresentou melhor conversão por massa e por dúzia de ovos quando comparada aos demais tratamentos. Em relação aos parâmetros de qualidade dos ovos, observou-se diferença significativa para espessura da casca, tendo a dieta T4 com redução de 60% CMAA apresentado o melhor resultado em relação à dieta-controle e as dietas com redução de 30 e 50% do MCAA. No segundo experimento, as aves foram distribuídas em um delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos, dez repetições com dez aves por repetição, onde foram testadas diferentes fontes de microminerais complexados a aminoácidos. Os tratamentos foram um arranjo fatorial 2

x 2 + 1 controle inorgânico: os fatores foram duas fontes de Zn, Mn e Cu (Mineral complexado a aminoácidos (MCAA) e Mineral Glicinato (MG) em dois níveis baixos (20, 20 e 3,5 ppm de Zn, Mn e Cu, respectivamente), e alta (40, 40 e 7 ppm de Zn, Mn e Cu, respectivamente). A dieta-controle inorgânica (Sulfatos) continha Zn, Mn e Cu nos níveis elevados (40, 40 e 7 ppm, respectivamente). Ferro, Se e I foram suplementados com fontes inorgânicas nos mesmos níveis em todas as dietas. Os dados foram submetidos à análise de variância, com médias comparadas por contrastes ortogonais (fonte mineral, nível, fonte x nível e fonte) quando $P < 0,05$. As galinhas poedeiras alimentadas com MCAA apresentaram melhor ($P < 0,05$) produção de ovos (%), massa de ovos (g/ave/dia), conversão alimentar (g: massa g: dz de ovos), altura do albúmen (mm), unidades Haugh e espessura da casca do ovo em comparação com poedeiras alimentadas com dietas contendo sulfatos e MG, sendo que o sulfato apresentou melhor resultado para altura de albúmen e unidades Haugh quando comparado ao tratamento com MG. Esses dados mostram diferenças claras entre as fontes de microminerais, tendo a fonte MCAA com resultado superior às fontes de MG e sulfatos, e este último melhor que o glicinato para galinhas poedeiras.

Palavras-chave: Espessura de casca. Fonte mineral. Glicinato. Mineral complexado. Qualidade de casca. Unidade Haugh.

ABSTRACT

Sources of microminerals complexed to organic molecules have improved their absorption and metabolism by birds. The research was conducted to evaluate the effects of the supplementation of the microminerals Zinc, Manganese (Mn), Copper (Cu) Iron (Fe) and Selenium (Se) in organic form associated with inorganic sources on internal and external performance and quality of laying hens' eggs. The research was carried out in the research facilities of the Experimental Station of Small Carpathian Animals (EEPAC) located in the municipality of Carpina. Nine hundred laying hens (Lohmann White) were used during the 78-98 week period, the research was divided into two experiments. In the first experiment the birds were distributed according to a completely randomized experimental design with four treatments and ten replicates of ten birds per experimental unit. The treatments consisted of four diets, with total substitution of the inorganic mineral source by amino-acid complexed with amino acids (CMAA), with reduction of supplementation levels in 30, 50 and 60%, respectively: T1-Control diet with only sources of inorganic minerals, and T2; T3 and T4 Diet 100% (CMAA). Data were submitted to analysis of variance and Tukey test ($P < 0.05$). The supplementation of the CMAA mineral significantly increased the egg production, weight and mass as the quantity of the CMAA mineral was reduced, the treatment with 60% reduction being the best results when compared to the other diets, whereas the control diet showed the lowest means. MAC-fed birds presented better conversion by mass and dozen eggs; the diet with 60% reduction presented better conversion by mass and dozen eggs when compared to the other treatments. Regarding the parameters collected from the eggs, a significant difference was observed for the thickness of the bark, and the diet with a 60% CMAA reduction presented the best result in relation to the control diet and the diets with a CMAA reduction of 30 and 50%. In the second experiment the birds were distributed in a completely randomized design with five treatments, ten replicates per treatment and ten birds per replicate. The treatments were a $2 \times 2 + 1$ factorial arrangement plus an inorganic control: the factors were two sources of Zn, Mn and Cu (CMAA or GM) at two levels (low, 20, 20 and 3.5 ppm of Zn, Mn and Cu); respectively, and high, 40, 40 and 7 ppm of Zn, Mn and Cu, respectively). The inorganic control diet contained Zn, Mn and Cu at high levels (40, 40 and 7 ppm, respectively). Iron, Se and I were supplemented with inorganic sources at the same

levels in all diets. The data were submitted to analysis of variance, with averages compared by orthogonal contrasts (mineral source, level, source x level and source) when $P < 0.05$. CMAA-fed laying hens presented better egg production (%), egg mass (g / bird / day), feed conversion per mass and per dozen eggs (g: dz; g: egg mass), bark thickness of egg (mm), height of albumen), and Haugh units in comparison to laying hens fed GM-containing diets. These data show clear differences in micromineral sources with amino acid complexes resulting in superior performance compared to glycinate sources for laying hens. Supplementation of laying diets with MAC and CMAA at the production stage improved performance and egg quality parameters.

Key-words: Complexed minerals. Eggshell thickness. Eggshell quality. Glycinate. Haugh unit. Mineral source.

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A grande maioria das pesquisas na nutrição avícola abordam a relação energia: proteína, aminoácidos sulfurados, lisina, a relação Cálcio: Fósforo, balanço eletrolítico, e em menores proporções os minerais (RUTZ, et al., 2009). Para se atingir uma boa nutrição, é importante que a ave receba quantidades adequadas de todos os nutrientes, incluindo os minerais, pois estes participam de todos os processos bioquímicos corporais (SECHINATO et al., 2006).

Um dos problemas enfrentados pela avicultura de postura está relacionado com o desempenho e a qualidade interna e externa dos ovos. A redução da qualidade da casca ocorre de forma gradativa ao decorrer do ciclo produtivo bem como a idade avançada das aves, sendo estimado de 8 a 10% de perdas decorrentes do aumento da incidência de ovos de casca fina, e trincados (CARVALHO, 2013; KETTA; TUMOVÁ, 2016).

As dietas para aves são formuladas com minerais na forma inorgânica (óxidos, sulfatos, cloretos, carbonatos e fostatos). Porém, quando estas fontes chegam no trato digestório das aves, ocorre a liberação de íons devido a dissociação das moléculas, e em sua grande maioria esses íons não encontram um agente ligante que possa fazer a passagem dos mesmos através da parede intestinal até a corrente sanguínea (DENBOW, 2000), desse modo acabam competindo por sítios de absorção com outros minerais, causando antagonismo e conseqüentemente inibindo sua absorção, diminuindo a disponibilidade dos nutrientes para o animais (RUTZ et al., 2007).

A suplementação com microminerais complexados a aminoácidos na dieta das aves de postura é uma estratégia que vem sendo aplicada para tentar reduzir tais perdas, posto que podem melhorar a produção de ovos (FAVERO et al., 2013), bem como sobre a estabilidade no trato gastrointestinal (NUNES et al., 2013; YILMAZ DIKMEN et al., 2015). De fato, os minerais na forma orgânica parecem ter uma maior disponibilidade no trato gastrointestinal quando comparados com as fontes de sais inorgânicos que, por estarem nas formas iônicas, podem se complexar com outros componentes da dieta, dificultando a absorção ou tornando-os indisponíveis aos animais (RUTZ, et al., 2007; FAVERO et al., 2013).

Esses complexos são melhores aproveitados em razão da sua característica de estabilidade no trato gastrointestinal, pois evitam perdas e competições com antagonistas (RICHARDS; DIBNER, 2005).

É importante considerar que a maioria dos microminerais estão associados em todas as fases de vida das aves de postura, participando de uma série de processos bioquímicos essenciais ao crescimento e desenvolvimento do tecido ósseo (BRITO et al., 2006).

De acordo com Bertechini (2012), entre as principais funções dos microminerais no organismo pode-se destacar a participação destes na formação do tecido conectivo, na manutenção da homeostase dos fluídos orgânicos, na manutenção do equilíbrio da membrana celular, na ativação de sistemas enzimáticos, no efeito direto ou indireto que estes exercem sobre as glândulas endócrinas, nos efeitos sobre a microflora simbiótica do trato gastrointestinal e na participação do processo de absorção e transporte dos nutrientes no organismo.

No entanto, a literatura ainda é muito controversa, necessitando de mais estudos com o intuito de avaliar a resposta das aves as diferentes fontes de minerais quelatados em associação ou substituição com fontes de minerais inorgânicos, bem como estudos que avaliem a estabilidade da molécula no trato gastrointestinal das aves e a sua biodisponibilidade (SECHINATO et al., 2006).

CAPÍTULO I

MICROMINERAIS: IMPORTÂNCIA, UTILIZAÇÃO E FORMAS DE SUPLEMENTAÇÃO PARA AVES

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Minerais

Os minerais são classificados academicamente em macro e microminerais. Esta classificação está relacionada com as concentrações dos elementos nos tecidos que, de certa forma, indicam as suas necessidades orgânicas (BERTECHINI, 2012). Os macrominerais (Cálcio, Fósforo, Sódio, Potássio, Cloro, Enxofre e Magnésio) são oferecidos em grandes quantidades e normalmente apresentam funções estruturais e fisiológicas. Os microminerais (Zinco, Cobre, Manganês, Selênio, Ferro e Iodo), que são necessários em pequenas quantidades no organismo e na sua grande maioria estão envolvidos em funções metabólicas, como resposta imune, reprodução e crescimento (KIEFER, 2005).

Principais microminerais para aves e suas funções

Zinco (Zn)

O Zn é essencial para organismos vivos, está presente como cofator em mais de 300 metaloenzimas, representando todas as seis classes de enzimas (oxidoredutases, transferases, hidrolases, liases, isomerasas e ligases) e desempenha um papel importante em muitos processos metabólicos, incluindo a síntese de proteínas (O'DELL, 1992; SALIM et al., 2008). A deficiência de Zn exerce uma influência negativa sobre o metabolismo de proteínas e carboidratos em animais e leva à redução do consumo de ração, diminuição do crescimento, anormalidades nos processos imunológicos e reprodutivos e problemas esqueléticos e de pele (UNDERWOOD; SUTTLE, 1999; BERTECHINI, 2012).

O principal local de deposição do Zn são os ossos, posto que participam da cristalização da hidroxiapatita óssea, no crescimento da placa dos condrócitos e atuam na transcrição de genes relacionados a ossificação. Também é um importante componente da anidrase carbônica, uma enzima essencial para a formação da casca do ovo a partir de íons de carbonato (BERTECHINI, 2014).

Na mucosa uterina, a enzima anidrase carbônica promove a hidratação do dióxido de carbono no tecido uterino que é transformado em ácido carbônico (BERG et al., 2004), sendo esta a maior fonte de íons carbonato para a formação da casca. A inibição desta enzima determina a redução no peso da casca dos ovos (NYS et al., 2007) e queda na produção de ovos (LEESON; SUMMERS, 2001). Mabe et al. (2003) sugeriram que a deficiência de minerais como zinco, manganês e cobre poderia alterar a formação de cristais de calcita e modificar a estrutura cristalográfica da casca do ovo e, conseqüentemente, afetar suas propriedades mecânicas. É importante salientar, porém, que a disponibilidade desse mineral pode ser comprometida em razão da tendência de formação de complexos principalmente com o fitato da dieta, além de interações com outros minerais como Fósforo (P), Cromo (Cr), Sódio (Na) e Ferro (Fe) (BERTECHINI, 2012).

Tradicionalmente, a suplementação de Zn na alimentação de aves é oriunda de fontes inorgânicas, sob a forma de sulfato e óxido, por razões de custo e disponibilidade, o que acarretava níveis excessivos do mineral nas dietas por sua forma inorgânica se ligar a outros compostos no trato-gastrointestinal, tornando-se indisponível na sua grande maioria e, desse modo, sendo excretado para o meio ambiente.

Cobre (Cu)

O Cu tem participação ativa na respiração celular, na formação óssea, na função cardíaca, no desenvolvimento do tecido conectivo, na mielinização da medula espinhal, queratinização e pigmentação dos tecidos. Esse mineral parece ser absorvido por dois mecanismos, sendo utilizado o de difusão quando em altas concentrações na dieta e com gasto de energia quando em baixas concentrações (MAIORKA; MACARI, 2002).

As formas orgânicas de Cu, também utilizadas na forma de aditivos para alimentação animal, são mais facilmente assimiladas por aves e outras espécies animais e exercem um efeito mais benéfico sobre sua saúde (JAROSZ, 2018). O complexo mineral aminoácido aumenta a absorção de Cu pelos enterócitos e limita a excreção do elemento no meio ambiente (JEGEDE et al., 2015).

Assim como ocorre com o Zn, sua absorção parece ser regulada pela

metalotioneína, sugerindo a existência de um sítio de ligação entre o Cu e Zn (MAIORKA; MACARI, 2002). A deficiência do Cu nas dietas de poedeiras e matrizes ocasiona em queda na produção de ovos, decréscimo na eclodibilidade, aumento de incidência de ovos de casca fina ou sem casca (PALERMO-NETO et al., 2005).

Aves mais jovens possuem maiores teores hepáticos desse mineral quando comparado às aves adultas, sendo justificado pelo maior suporte necessário quando jovens para formação dos constituintes do sangue nas fases inicial e de crescimento (BERTECHINI, 2014).

Jegade (2015) realizou uma pesquisa para determinar os efeitos das fontes orgânicas e inorgânicas de Cu sobre o desempenho, colesterol no sangue e gema e acumulação de Cu na gema das galinhas poedeiras com 20 semanas de idade. As dietas consistiam em uma dieta basal (contendo $37,24 \text{ mg/kg}^{-1}$ Cu) suplementada com Cu orgânico (Cu proteínato, Cu-P) e outra com Cu inorgânico (Cu sulfato de pentahidratado, CuSO_4). O autor afirma que o cobre orgânico é mais biodisponível do que o cobre inorgânico, devido ao maior acúmulo de Cu na gemas das aves alimentadas com Cu-P a 50 mg/kg , e que um alto nível de Cu-P (150 mg/kg) nas dietas das galinhas poedeiras foi eficaz para a redução do colesterol na gema e no sangue de aves experimentais.

Jarosz et al. (2018), trabalhando com frangos da linhagem Ross 308 de um dia de idade distribuídas em 5 tratamentos experimentais, observaram que as aves do grupo-controle receberam uma mistura de alimentação equilibrada de acordo com os requisitos para linhagem, bem como uma pré-mistura mineral e vitamínica sem cobre. As aves nos grupos experimentais receberam Cu na forma inorgânica (CuSO_4), na forma inorgânica com um suplemento de fitase (CuSO_4+F) e na forma orgânica em combinação com glicina (Cu-Gly) e em forma orgânica em combinação com glicina e um suplemento de fitase (Cu-Gly+F), com o objetivo de determinar o efeito de formas inorgânicas e orgânicas de Cu sobre a resposta imune celular e humoral em frangos de corte. O autor chegou à conclusão que a maior ativação de linfócitos foi obtida com o quelato de cobre-glicina, caracterizado por uma maior biodisponibilidade. O autor relata que suplementação com quelatos de Cu para aves ativa a resposta imune celular, aprimorando processos imunes no organismo e protegendo-a contra a infecção.

Manganês (Mn)

O Mn é um mineral traço vital e desempenha um papel significativo no crescimento corporal e ósseo, função cerebral normal, reprodução, digestão, função fisiológica, processos biossintéticos e componente de enzimas (quinases, hidrolases, transferases e descarboxilases) envolvidas no metabolismo dos carboidratos, dos lipídios e das proteínas (RUBIO, 2016).

O Mn está presente principalmente no fígado, mas também pode ser encontrado na pele, músculo e ossos (BERTECHINI, 2012). Tem função essencial na formação do sulfato de condroitina, importante componente da cartilagem óssea. A deficiência deste mineral pode provocar a diminuição na síntese de mucopolissacarídeos, sendo este o ativador da síntese de sulfato de condroitina. O sulfato é necessário ao organismo para manter a rigidez na conectividade dos tecidos, sendo importante na prevenção de anormalidades no esqueleto, como perose e encurtamento, má formação dos ossos das pernas, prejuízo nas funções reprodutivas, além de ter efeito negativo sobre a produção de ovos (LEACH et al., 1969, BERTECHINI, 2012).

Yildiz et al. (2011) avaliaram os efeitos das fontes orgânicas (Mn-Bioplex) e inorgânicas (óxido) em 5 doses crescentes (15, 30, 45, 60 e 75 mg/kg) durante 12 semanas, sobre o desempenho, qualidade do ovo e mineralização dos ossos de galinhas poedeiras. Os autores demonstraram que as fontes de Mn orgânicas melhoram o crescimento, peso do ovo e solidez óssea.

A absorção desse mineral é baixa, em razão de competições pelos sítios de ligação com o Fe e Cobalto (Co) no enterócito; além disso, minerais como o Ca, P e Fe reduzem a solubilidade, diminuindo sua eficiência de absorção, sendo detectadas grandes quantidades nas excretas (MAIORKA; MACARI, 2002; BERTECHINI, 2012).

Fávero et al. (2013), em um estudo com Zn, Mn e Cu na forma orgânica em substituição aos sulfatos (inorgânico) sobre o desempenho reprodutivo de matrizes da linhagem Cobb 500, verificaram que não houve alteração nas características de fertilidade, produção e eclodibilidade, porém, os autores relatam uma melhoria no peso e espessura da casca do ovo. Os autores relatam que o efeito sobre a qualidade do ovo é justificado pelo aumento da biodisponibilidade dos minerais no lúmen intestinal e pode estar relacionado com o processo de calcificação da casca. Mabe et al. (2003) também

observaram efeitos positivos com melhoria na resistência à ruptura e fratura nas tíbias, ao trabalharem com aves de 60 e 69 semanas de idade, que receberam o Mn, Cu, Zn na forma orgânica em comparação ao tratamento inorgânico.

Selênio (Se)

O Se é componente básico da enzima glutathiona peroxidase (GSH-Px), que está envolvida na proteção antioxidante e no metabolismo da tireoide. Esta enzima tem como função a remoção dos peróxidos, prevenindo seu ataque aos ácidos graxos poliinsaturados presentes nas membranas lipídicas (LEESON; SUMMERS, 2001).

No metabolismo, o Se está associado à vitamina E. Organicamente, a vitamina E tem a função de evitar a formação dos peróxidos dos tecidos por ação antioxidante, mantendo a integridade das membranas das células (BERTECHINI, 2006), sendo o Se crucial para regulação da atividade da (GSH-Px) e para a eficiência do sistema antioxidante (FUNARI JÚNIOR, 2008), prevenindo a ação de peróxidos sobre os ácidos graxos presentes nas membranas lipídicas (LEESON; SUMMERS, 2001).

Mobaraki e Shahryar (2015) avaliaram a suplementação de vitamina E e Se sobre o desempenho, qualidade de ovo e incubabilidade de ovos de codornas japonesas durante o período de 60 dias. Os autores utilizaram dois níveis de vitamina E e dois níveis de Se (80 mg/kg de vitamina E+0,2 mg/kg de Se orgânico e 160 mg/kg de vitamina E+0,4 mg/kg de Se orgânico). Os resultados experimentais indicaram que a ingestão alimentar, a espessura da casca, o peso do albúmen e a percentagem de incubabilidade dos ovos armazenados durante sete dias foram significativamente afetados pelos tratamentos. De acordo com os autores, o uso de vitamina E e Se (160 mg / kg de vitamina E + 0,4 mg / kg de selênio orgânico) teve impacto positivo em características de desempenho e qualidade do ovo.

O Se pode ser absorvido ao longo do intestino delgado e também nos cecos (MAIORKA; MACARI, 2002), porém, a absorção do mineral depende da sua apresentação química. Os aminoácidos que contêm Se são absorvidos pelo trato digestivo de forma ativa e eficiente, por intermédio da via de transporte de aminoácidos, e podem ser distribuídos diretamente para o organismo por meio da circulação sanguínea, sem entraves no trato gastrointestinal (COMBS; COMBS, 1986) na forma

inorgânica e apresentado como Se-Cys (selênio-cisteína), o metal não é ativamente transportado, podendo ser excretado (LEESON; SUMMERS, 2001).

Após a absorção, o metal é levado aos diversos tecidos do organismo animal ligado a proteínas plasmáticas, sendo encontrado em maiores concentrações nos rins, fígado, glândula pituitária e pâncreas. No fígado é utilizado para síntese de selenoproteínas biologicamente ativas (MAIORKA; MACARI, 2002). Payne et al. (2005) estudaram a deposição de Se em ovos de galinha, comparando aves alimentadas com dietas suplementadas com 0,15; 0,30; 0,60; e 3,00 ppm de Se orgânico ou inorgânico e observaram que os níveis de Se transferidos aos ovos aumentaram linearmente com o aumento da suplementação do mineral na dieta, independentemente da fonte de Se. Porém, na suplementação com o mineral orgânico, ocorreu deposição de maior quantidade do mineral nos ovos.

Ferro (Fe)

O Fe desempenha papel importante em diversos processos metabólicos vitais aos seres vivos, participando no transporte de oxigênio, síntese de DNA e reações redox na cadeia transportadora de elétrons (LEVENSON; TASSABEHJI, 2004). Além disso, devido a sua capacidade de se interconverter entre a forma férrica (Fe^{3+}) e a forma ferrosa (Fe^{2+}), torna-se um componente muito útil na estrutura molecular de diversas proteínas e enzimas (CRICHTON et al., 2002). Leeson e Summers (2001) afirmam que Fe presente no organismo animal representa cerca de 0,005% a 0,009% do peso corporal. Ele se encontra na forma de hemoglobina (57%) e (7%) na forma de mioglobina, necessária para o funcionamento dos músculos.

A mioglobina é necessária para o funcionamento muscular, incluindo o músculo cardíaco, que possui prioridade no aporte de suplemento de Fe diário. A maior parte do metal contido nos alimentos ocorre na forma férrica (Fe^{3+}), tendo baixa eficiência de absorção no trato intestinal. O intestino delgado proximal é onde ocorre absorção da maior parte do Fe (LEESON; SUMMERS, 2001). De acordo com Underwood (1999), nos não-ruminantes, a absorção pode ser afetada em função da idade e a forma como o mineral se apresenta no organismo, condições do trato intestinal, particularmente do duodeno, que é o principal sítio de absorção; em relação à dieta, pode interferir na quantidade e forma química do Fe que é ingerido pelo animal e por outros minerais que

podem interagir com o Fe pelo mesmo sítio de absorção, tais como Cu e Mn.

O micromineral Fe faz parte de produtos como o ovo, que contém cerca 1,32 mg do mineral e por isso é considerado uma excelente fonte desse nutriente para a nutrição humana (SCOTT et al., 1982). Contudo, 95 % do Fe presente na gema do ovo encontra-se ligado a uma proteína denominada fosvitina, numa conformação muito estável dificultando a sua absorção (BERTECHINI et al., 2014).

Um experimento conduzido por Park et al. (2004) para determinar a eficácia de proteinato dietético ferro-soja (Fe) e quelato de ferro-metionina (Fe-Met) sobre o desempenho de galinhas poedeiras e quanto ao conteúdo de ferro na gema dos ovos. Foram utilizadas 800 galinhas poedeiras de 68 semanas de idade, da linhagem Hy-Line Brown. Os autores concluíram que 100 ppm de Fe na forma “orgânica” (FeMet ou Availa-Fe) foram suficientes para aumentar o teor de ferro no ovo, enquanto que o sulfato ferroso precisava de 200 ou 300 ppm de Fe para atingir o teor máximo do mineral no ovo.

Todos os organismos vivos, tanto animais como vegetais, apresentam quantidades variáveis de minerais no seu organismo, que são necessários para manter seu metabolismo. Por isso, esses nutrientes são de grande importância para o desenvolvimento das espécies (MAIORKA; MACARI, 2002).

Minerais complexados a moléculas orgânicas

A “Association of American Feed Control Officials” – AAFCO (2000) define os minerais orgânicos da seguinte forma:

- a) Complexo aminoácido – metal: produto resultante da complexação entre um sal metálico solúvel com aminoácido;
- b) Quelato aminoácido – metal: produto resultante da reação entre um íon metálico oriundo de um sal metálico solúvel com aminoácidos dentro de uma relação molar de um mol de metal para um a três moles de aminoácidos (preferencialmente dois) para formar ligações covalentes coordenadas. O peso médio de um hidrolisado de aminoácidos deve ser de aproximadamente 150 daltons e o peso molecular de um quelato não deve exceder a 800;
- c) Metal (complexo aminoácido específico – metal): produto resultante da

- complexação de um sal metálico solúvel com um aminoácido específico;
- d) Metal proteinado: produto resultante da quelatação de um sal solúvel com uma proteína parcialmente hidrolisada;
 - e) Complexo polissacarídeos – metal: produto resultante de um complexo entre um sal solúvel com uma solução de polissacarídeos.

Os minerais são adicionados à dieta na sua forma inorgânica, tais como óxidos, sulfatos, carbonatos e fosfatos; entretanto, atualmente, têm-se utilizado minerais complexados a aminoácidos na suplementação, buscando-se uma maior biodisponibilidade desses nutrientes, visto que são compostos ligados a aminoácidos, peptídeos ou complexos polissacarídeos, proporcionando, assim, uma melhor absorção no intestino dos animais (BERTECHINI, 2014).

Somente os chamados minerais de transição apresentam as características físico-químicas que possibilitam a formação de ligação covalente coordenada com aminoácidos e peptídeos e, desta forma, os complexos biologicamente estáveis (RUTZ; MURPHY, 2009). Fontes de minerais orgânicos surgiram no mercado com a perspectiva de serem mais facilmente absorvidos e retido pelas aves, reduzindo, assim, a excreção do mineral, traço que potencialmente polui o meio ambiente (ZAMANI et al., 2005).

Os quelatos de minerais têm sido objeto de um número crescente de pesquisas nos últimos anos. Os resultados demonstram uma tendência clara para uma melhor utilização e maior biodisponibilidade dos suplementos minerais na forma orgânica, quando comparado às fontes inorgânicas. O primeiro experimento relatando o uso de quelatos na alimentação animal foi desenvolvido por Neathery et al. (1972) na Unversidade de Georgia, com vacas. Nesse teste foram comparadas duas dietas à base de milho com Zn marcado radiotivamente, sendo uma dieta com Zn quelatado e outra com o sultato de Zn. Procurou-se, então, medir a quantidade de Zn em alguns órgãos e tecidos. Os resultados encontrados apontaram para uma concentração tecidual de Zn 40% maior do mineral quelatado em comparação com o inorgânico.

Um trabalho recente realizado por Yenice et al. (2015) avaliou os efeitos das misturas orgânicas e inorgânicas de Mn, Zn, Cu e Cr usando níveis diferentes (80, 60, 5 e 0,15 mg / kg e 40, 30, 2,5 e 0,07 mg/kg, respectivamente), os minerais traço orgânicos

foram fornecidos como quelatos de metionina; Mn inorgânico, Zn e Cr foram fornecidos como óxidos; e o Cu foi fornecido como sulfato, adicionados à alimentação de galinhas poedeiras na fase de produção. Foram utilizadas galinhas Plymouth Rock Barrada com 50 semanas de idade. Os autores relatam que a forma orgânica aumentou significativamente as concentrações de Mn, Zn, Cu e Ca do soro; Mn, Zn, Cu e Cr no ovo; Zn e Cr na casca dos ovos, ao alimentar as aves com os minerais complexados a aminoácidos. Ainda de acordo com Yenice et al. (2015), eles relataram que a mistura orgânica de Mn, Zn, Cu e Cr aumentou a biodisponibilidade desses elementos em comparação com fontes inorgânicas, e um menor nível de suplementação do mineral traço resultou em menor excreção mineral, particularmente para a forma orgânica.

Esses complexos são melhores aproveitados em razão da sua característica de estabilidade no trato gastrointestinal, pois evitam perdas e competições com antagonistas (RICHARDS; DIBNER, 2005).

Zhang et al. (2017) relatam que a suplementação de Zn, Mn e Cu promovem melhorias na espessura da casca, em especial o Mn, que atua na estrutura da casca, promovendo aumento na espessura da camada paliçada e redução no tamanho dos botões mamilares. Além disso, o Mn é o ativador de enzimas que estão envolvidas na síntese de mucopolissacarídeos e glicoproteínas que contribuem para a formação da matriz orgânica da casca (GEORGIEVSKI, 1982). E o Cu é parte integrante da enzima lisiloxidase, que é importante na formação de ligações cruzadas de colágeno presentes na membrana da casca do ovo (SCOTT et al., 1982).

As diferentes fontes de minerais na forma orgânica parecem ter maior disponibilidade no trato gastrointestinal, proporcionando maior rapidez na absorção, resultando em melhorias na vida útil das aves e na qualidade dos ovos quando comparados com as fontes de sais inorgânicos, que por estarem nas formas iônicas podem se complexar com outros componentes da dieta, dificultando a absorção dos nutrientes pelos animais e, deste modo, prejudicando, de alguma forma, o metabolismo animal com efeito negativo na produção de ovos.

Metabolismo dos Minerais

Nos seus termos mais básicos, o metabolismo refere-se ao conjunto de reações bioquímicas que controla a síntese e a degradação de substâncias no organismo (TORRES, 2014), sendo constituído por dois conjuntos de reações químicas denominadas de anabolismo e catabolismo. O anabolismo relaciona-se com a síntese de compostos orgânicos estruturais e funcionais, tais como proteínas de membrana, enzimas e hormônios (DUKES, 1993). Essas reações são fundamentais para o desenvolvimento de um organismo e para reparar danos nas células. O catabolismo, por sua vez, envolve algumas reações que têm por função degradar substâncias orgânicas para obtenção de ATP, ou seja, para produzir energia (SANTOS, 2004).

Diferentemente do anabolismo, o catabolismo atua fornecendo energia para que importantes atividades possam ser realizadas, tais como a movimentação, respiração, controle da temperatura e ação do sistema nervoso (TORRES, 2014).

Digestão

A maioria dos processos digestivos e de absorção ocorre no intestino delgado, acompanhado pela ação do ácido clorídrico no proventrículo, da bile secretada pelo fígado e de uma variedade de enzimas digestivas liberadas tanto pelas células gástricas e intestinais quanto pelo pâncreas (DENBOW, 2000).

Os metais ingeridos podem ser subdivididos em duas categorias gerais: aqueles solúveis em uma ampla variação de pH no trato gastrointestinal, ex. sódio, cálcio e magnésio, e aqueles susceptíveis a reação de hidróxi-polimerização, como o alumínio, manganês, zinco, cobre e o ferro. Estes são prontamente solúveis em ácido (ex: no estômago dos não-ruminantes), mas em condições de alcalinização no intestino delgado, as moléculas de água, às quais eles estão ligados, perdem rapidamente seus prótons para formar compostos hidróxi-metálicos, conforme a solução ácida se aproxima de pH neutro. Outros prótons são liberados pelas moléculas de água coordenadas ao redor do metal numa tentativa de manter o equilíbrio, isto pode levar a uma ampla polimerização dos hidróxi-metais e, por fim, precipitação, tornando o metal não disponível para a absorção (POWER, 2006).

Durante a digestão, os nutrientes no lúmen (incluindo os minerais que não precipitaram) são direcionados para as vilosidades do intestino delgado, mas primeiro deparam-se com uma camada de água com características não homogêneas, esta mede

em torno de 600 µm de espessura, logo abaixo uma nova camada de muco, medindo 50-100 µm de espessura, antes de chegar à membrana do enterócito, onde ocorre a absorção propriamente dita (VAN DER KLIS; KEMME, 2002).

A quebra dos alimentos se faz no lúmen do intestino sob a influência de enzimas digestivas. Contudo, parte da digestão ocorre na superfície das vilosidades, que são formadas por células da mucosa (enterócitos) e pela ação das enzimas de membrana (MAIORKA, 2004).

Como citado anteriormente, as fontes de microminerais usadas em nutrição animal são as inorgânicas, que são solubilizados por fluidos digestivos no intestino; quando estes sais chegam ao estômago das aves ocorre uma dissociação das moléculas, devido ao pH ácido, liberando os íons metálicos como Zn^{++} , Mn^{++} (POLLI, 2002).

Acredita-se que os íons metálicos dissociados se movem através do sistema digestivo e se fixam a ligantes, o que pode facilitar sua passagem através do lúmen intestinal para as células da parede do intestino. No entanto, muitos íons metálicos livres não encontram um ligante e simplesmente passam através do intestino e são excretados, e outros, podem se ligar a íons “metal livre”, tornando-o indisponível para absorção. Rutz et al. (2009) relataram que os sais, para serem absorvidos, precisam ser solubilizados para liberarem os íons e, uma vez ionizados, eles podem se complexar com outros componentes dificultando sua absorção.

No caso de um mineral na forma orgânica, muitas pesquisas citam que o íon metálico é pré-ligado a um ligante. O mineral orgânico, portanto, não é teoricamente afetado pelo processo de digestão e deve se mover diretamente para o revestimento intestinal para absorção; se o quelato se rompe no estômago, os íons se tornam livres e, neste caso, possivelmente não há nenhuma diferença entre os quelatos e as fontes de minerais inorgânicos (ASHEMEAD, 1993).

O destino dos íons metálicos ligados “quelatos” a peptídeos, a aminoácidos, não é bem explicado, existe um consenso geral de que a ligação de um metal a um aminoácido melhorará a absorção e que os aminoácidos formarão uma forte ligação com o metal, protegendo-o dos antagonistas e do pH estomacal à medida que ele se move através do sistema digestivo e, assim, melhorando a absorção (ASHEMEAD, 1993).

As moléculas produzidas pela digestão se movem do lúmen do trato gastrintestinal pela parede de células epiteliais e entram no sistema sanguíneo (absorção), uma vez que aves não possuem sistema linfático. Enquanto a digestão, secreção e absorção estiverem ocorrendo, contrações do músculo liso da parede do trato gastrintestinal misturam o conteúdo do lúmen com várias secreções e o movem através do trato, caracterizando a motilidade (BELL, 2002).

O intestino delgado é a porção mais longa do sistema digestório, responsável pela digestão final do alimento e absorção dos nutrientes (BOLELI et al., 2002). A mucosa intestinal apresenta projeções microscópicas denominadas de vilos, que são constituídos por três tipos de células, funcionalmente distintas: enterócitos, células caliciformes e as células enteroendócrinas (MAIORKA, 2004). Quanto maior o número de células, maior o tamanho do vilos, e conseqüente, maior será a área de absorção dos nutrientes (YAMAUCHI; ISSHIKI, 1991).

Absorção dos Minerais

A absorção refere-se ao movimento dos produtos da digestão pela luz do trato digestório para a circulação através do epitélio intestinal e do endotélio dos capilares sanguíneos e linfáticos que o irrigam. Muitas são conduzidas pela circulação porta ao fígado, onde são armazenadas ou metabolizadas antes de entrarem na circulação sistêmica que as distribuem às células do organismo. Outras são transportadas diretamente para a circulação sistêmica (GUYTON; HALL, 1997; AIRES, 2001).

No processo de absorção, as moléculas se movem através de barreiras, a membrana plasmática; o processo de transporte de nutrientes envolve proteínas específicas, as proteínas transmembranas (assim chamadas porque ligam o meio extracelular ao meio intracelular), estas se encontram ancoradas na matriz da membrana formando canais de transporte para os nutrientes (JOHNSON, 2013). Apenas moléculas pequenas e sem cargas conseguem atravessar a membrana sem auxílio das proteínas, entre elas podemos citar: O₂, CO₂ e Benzeno, porém, substâncias como a glicose, aminoácidos, sódio, cloreto, H⁺ necessitam do auxílio da proteína transmembrana para passarem do meio extra para o meio intracelular (FARIA, 2000).

No intestino delgado, o transporte dos íons para o interior da célula ocorre por difusão passiva ou pelo transporte ativo. Para isto ocorrer, estes íons necessitam estar

atrelados a um agente ligante ou molécula transportadora, que permita a passagem através da parede intestinal (KIEFER, 2005). Várias vezes, estes íons metálicos não encontram um carreador disponível para o transporte transmembrana no intestino e são excretados (HERRICK, 1993). A tentativa de suprir a exigência nutricional das aves com suplementação extra de minerais de fontes com baixa absorção podem causar efeitos prejudiciais, como diarreia e desequilíbrios, que podem levar à redução na absorção de outros minerais através do antagonismo (BERTECHINI, 2014).

A absorção de grande parte dos minerais presentes nos alimentos é afetada pela barreira intestinal, formada pelo pH, pela viscosidade intestinal e por condições físico-químicas do intestino, o que leva as dietas a serem formuladas com níveis dietéticos acima dos necessários (VAN DER KLIS; KEMME, 2002). Uma dessas barreiras é o muco produzido pelas células que causa viscosidade com a digesta. O muco é produzido e secretado pelas células caliciformes, presentes na mucosa, onde atuam como barreira de defesa e meio de transporte (GUTH; ENGELHARDT, 1989).

A mucina consiste em um núcleo central de proteína com cadeias de oligossacarídeos, ligados por N-acetil-galactosamina, serina ou treonina. A mucina contém uma alta densidade de grupos sulfatos e grupos carboxilatos, que conferem natureza negativa para a mucosa. Isto significa que a camada da mucosa apresenta uma alta afinidade e capacidade de se ligar a íons (MAIORKA, 2004; BERTECHINI, 2014).

Rutz et al. (2009) relataram que os sais, para serem absorvidos, precisam ser solubilizados para liberarem os íons e, uma vez ionizados, eles podem se complexar com outros componentes dificultando sua absorção. Ainda segundo Rutz et al. (2009), a solução para esse problema é a utilização de microminerais na forma quelatada, que são complexados a aminoácidos ou polissacarídeos e absorvidos por meio de carreadores, acreditando-se haver maior biodisponibilidade dos mesmos, resultando em menor necessidade de incremento do mineral na dieta com menor desperdício e excreção.

Mecanismos de absorção dos minerais

Os produtos da digestão são absorvidos do lúmen intestinal por duas vias diferentes: transcelular e intercelular. Na primeira, os nutrientes podem passar completamente através dos enterócitos, adentrando a membrana apical e saindo através

da membrana basolateral nos espaços laterais; isto se denomina absorção transcelular. Alternativamente, os nutrientes podem mover-se através das junções firmes diretamente nos espaços laterais, o que é conhecido como absorção paracelular. A absorção transcelular e a paracelular operam de forma complementar, de modo a produzir um processo absorptivo eficiente (CUNNINGHAM, 1999).

Absorção transcelular do zinco (Zn) nos enterócitos

A absorção intestinal de Zn ocorre principalmente no intestino delgado por um processo de transporte transcelular (Figura 2, letra A), os transportadores necessários para a absorção de Zn também estão presentes no cólon (GOPALSAMY et al., 2015). A proteína transportadora de Zn (ZIP4) na membrana apical transporta íons Zn para dentro da célula, a quantidade de ZIP4 na membrana apical é regulada quando o animal necessita de Zn ou quando a célula animal está repleta do mineral (MAO et al., 2007).

O Zn também pode usar a proteína de transporte (DMT1) para atravessar a membrana apical, embora deva competir por sítios de ligação neste transportador com os minerais Fe e Mn, visto que os mesmos usam a mesma proteína de transporte DMT1.

A DMT1 é considerada uma via secundária para a absorção de Zn através da membrana apical. As proteínas transportadoras de zinco (ZnT7) regulam o movimento dentro da célula e mantêm o Zn^{2+} em um estado ligado, de modo que ele não pode atuar como um pró-oxidante, que causaria reações entre radicais livres de oxigênio (stress oxidativo), o que resulta dano estrutural na molécula de DNA, lesão mitocondrial e peroxidação lipídica das membranas celulares (WOOTON et al., 2015).

A proteína de transporte ZnT7 captura Zn^{2+} que cruza a membrana apical e o transporta para a membrana basolateral, por meio do transportador intestinal (ZnT1), que vai mover o Zn^{2+} para o fluido intersticial, onde será ligado à albumina (Alb) (COUSINS, 2010). O transportador ZnT1 é o caminho primário usado para mover o Zn das vesículas de transporte por meio da membrana basolateral. A atividade do ZnT1 não parece ser regulada pelo estado do Zn (COUSINS 2010). Este transportador libera o Zn^{2+} na circulação portal para ser transportado no sangue ligado à albumina e transferrina para liberação para o fígado e outros tecidos para seu uso ou armazenamento (EVANS; WINTER, 1975).

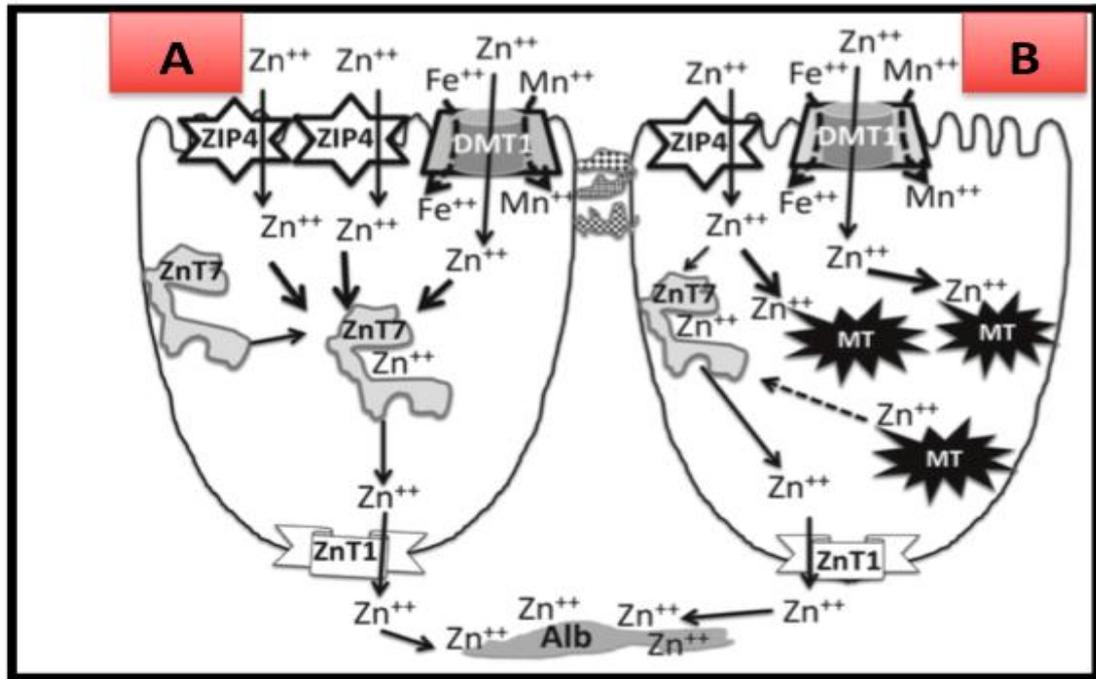


Figura 1. Absorção transcelular do zinco.
 Fonte: Adaptado de Goff (2018)

Quando as células animais estão saturadas de Zn, os enterócitos começam a sintetizar a proteína metalotioneína (MT), que se liga aos átomos de Zn com muita força. (Figura 2, Letra B). A MT atua como um tampão para manter o excesso de Zn sob controle e prevenir o aparecimento de íons livres de Zn^{2+} no citosol. A MT pode ser considerada uma proteína (ZnT) especial. A MT libera o mineral lentamente para uso ou liberação pelo enterócito, regulando, assim, sua concentração dentro da célula (PETERING; MAHIM, 2017). Qualquer mineral ligado a MT no momento em que o enterócito morre e é expelido e excretado nas fezes (CHESTERS, 1997).

Transporte de um quelato de aminoácido pela membrana

Os minerais traços são necessários em quantidades muito pequenas na dieta, e garantir que os animais recebam a quantidade e o equilíbrio correto pode ser um desafio, especialmente quando a absorção no intestino é prejudicada. A interferência de substâncias na alimentação ou na água, o estresse físico, ambiental ou os desequilíbrios

nutricionais podem impedir a absorção e a utilização efetiva desses minerais (BERTECHINI, 2012; RUTZ et al. 2009).

Os minerais amino-quelataados têm uma formação molecular especial. O aminoácido forma um anel característico com cada metal, fixando e protegendo o mineral da acidez estomacal. Desta forma, a estrutura é suficientemente forte para permanecer fixa através do processo digestivo, mas também suficientemente fraca para que o mineral seja liberado no lugar na célula-alvo. Por levar uma carga iônica neutra, o mineral não se fixa a partículas de alimentos presentes no estômago e intestino, sendo melhor absorvidos.

Macinnis et al. (1976) sugeriram que quase todas as células da mucosa no intestino delgado sejam capazes de absorver aminoácidos ou dipeptídeos. O quelato de aminoácidos é absorvido pelo intestino delgado, principalmente no jejuno, como se fosse um aminoácido ou dipéptido, assim ele segue a mesma via de absorção por meio da célula mucosa (Figura 3).

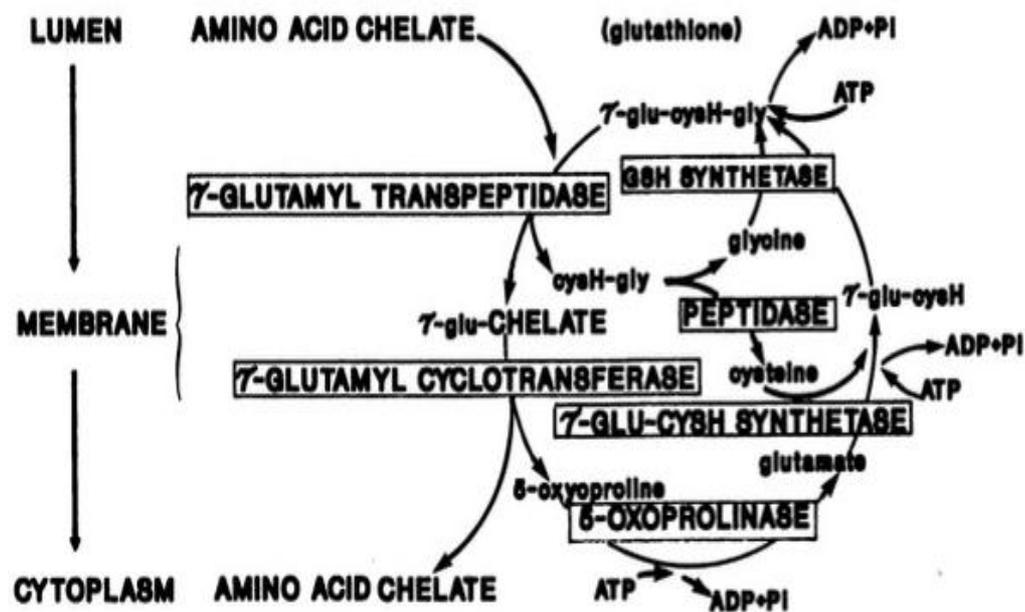


Figura 2. Transporte de um metal aminoácido pela membrana. Fonte: Ashmead (1993).

Quando o quelato de aminoácido intacto passa pelo processo digestivo e chega para ser absorvido nas células da mucosa, acredita-se que através da molécula de quelato do aminoácido se forma uma ligação com a porção gama da glutatona que é um

tripeptídeo constituído por três aminoácidos: ácido glutâmico, cisteína e glicina. A GSH é sintetizada no fígado em dois passos, catalisados pela γ -glutamil-cisteína-sintetase e pela glutatona-sintetase (Figura 3). A GSH é distribuída através da circulação sanguínea, para todos os tecidos e acredita-se que a GSH vai atuar no transporte do metal aminoácidos do meio extracelular para intracelular (MATTHEWS, 1997).

Após a formação da molécula de quelato-gama-glutationa ocorre uma quebra enzimática numa reação catalisada pela γ -glutamil-transpeptidase em nível extracelular gerando a molécula gama-glutamil-quelato e a cisteinil-glicina, esta última que agora é um dipeptídeo, sofre ação da peptidase, liberando a glicina e a cisteína para a formação de uma nova molécula de glutatona, por meio das enzimas 5-oxoprolinase, γ -glutamil-cisteína-sintetase e glutatona sintetase. Essas reações requerem três moléculas de ATP para gerar energia durante as reações, produzindo, assim, $3\text{ADP} + 3$ grupos fosfato durante o processo.

A ação da γ -glutamil-transpeptidase acaba por resultar no transporte do quelato de aminoácido do lado luminal da mucosa para dentro da célula. Em seguida, ocorre a clivagem do gama-glutamil-quelato pela ação da enzima gama-glutamil ciclotransferase, gerando 5-oxoprolina e a molécula de quelato de aminoácido original, com a mesma estrutura que a molécula presente no lúmen (MEISTER, 1973; MEISTER, 1975; MEISTER, 1976; MATTHEWS, 1997).

A entrada final do quelato de aminoácido no citoplasma poderia ocorrer na rede terminal da célula da mucosa e seria o resultado de mudanças de pH juntamente com a ação enzimática que quebra a ligação da proteína de transporte com o metal (ASHMEAD, 1993). Desse modo, a molécula original do quelato de aminoácidos seria então capaz de atravessar rapidamente a célula da mucosa na direção da membrana basal e, a partir daí, ser movida diretamente para o plasma, como uma molécula intacta. Não haveria exigência de um transportador intracelular para transportar os metal aminoácidos por intermédio da célula da mucosa. Talvez a pressão osmótica e a energia cinética de difusão sejam fatores que influenciam seu movimento (ASHMEAD, 1993).

No citoplasma da célula mucosa pode ocorrer uma certa quantidade de hidrólise de peptídeo; no entanto, a hidrólise intracelular do metal aminoácido ocorre com menos frequência do que a hidrólise de dipeptídeos sem metal, provavelmente devido ao impedimento estérico da estrutura do anel inerente à molécula do quelato. A separação

real do metal de suas moléculas de ligando de aminoácidos, acredita-se que ocorra nos locais de necessidade metabólica do mineral (MATTHEWS, 1977; ASHMEAD, 1993).

Excreção Mineral

Vários autores relataram a manutenção e a melhoria do desempenho e qualidade dos ovos com adição de microminerais orgânicos na dieta das aves; no entanto, poucos estudos avaliaram a excreção mineral, bem como suas possíveis rotas metabólicas.

De acordo com Herrick (1993), as moléculas inorgânicas dissociam-se, liberando íons metálicos, que são transportados para o interior dos enterócitos por difusão passiva ou transporte ativo e estas moléculas necessitam estar atreladas a um agente ligante ou molécula transportadora que permita a sua passagem por meio da parede intestinal, sendo assim absorvidos. Muitas vezes, estes íons não encontram o agente ligante e acabam sendo excretados; nessas condições, podem ocorrer perdas pela reação com fitatos, coloides insolúveis ou no processo de competição pelos sítios de absorção entre os elementos minerais com interações antagônicas que inibem a absorção.

Alguns estudos mostraram redução na eliminação de minerais na excreta quando foi utilizada a forma orgânica do mineral em comparada com a inorgânica. Suínos alimentados com dietas contendo óxido de zinco liberaram mais cobre fecal do que os alimentados com dietas contendo proteinato de zinco nos níveis de 150 ou 450ppm (BUFF et al., 2005). Nollet et al. (2008) encontraram redução significativa de excreção de minerais na excreta de frangos alimentados com níveis de inclusão de 17%, 33% e 67% de minerais em forma orgânica, quando comparados à excreção de minerais de aves alimentadas com minerais inorgânicos.

De acordo com Chesters (1997), existe uma proteína produzida pelo fígado, a metalotioneína (MT), que é uma estrutura molecular composta de uma única cadeia de aminoácidos dos quais 20 são cisteínas, a abundância de ligantes tiol dos resíduos de cisteína presente na sua estrutura molecular confere à proteína uma alta afinidade por íons metálicos livres. Ainda de acordo com o autor, a MT atua como um regulador para manter o excesso de minerais sob controle e prevenir o aparecimento de íons livres do metal no citosol.

A MT libera o mineral lentamente para outras proteínas de transporte para uso no enterócito ou para exportação através das membranas, regulando, assim, sua concentração dentro da célula. Qualquer mineral ligado a MT no momento em que o enterócito morre é expelido e excretado nas fezes.

De acordo com Inacio (2006), é geralmente aceito que a principal função da MT esteja relacionada à regulação dos metais no organismo, embora a exata natureza destas funções permaneçam indefinidas. Porém, o autor relata que as funções postuladas incluem detoxificação e estocagem de metais e a regulação do metabolismo celular de cobre e zinco em resposta a alterações fisiológicas e ambientais.

Abdallah et al. (1994) avaliaram a adição de manganês orgânico na dieta de frangos de corte e afirmaram que a excreção do mineral nas fezes é reduzida ao utilizar a forma orgânica, quando comparada à forma inorgânica.

Burrell et al. (2004) avaliaram o desempenho e a excreção mineral em frangos alimentados com concentrações diferentes de zinco em formas orgânica e inorgânica, havendo menor excreção fecal de zinco quando foi adicionada a forma orgânica do mineral. De forma contrária, Dozier III et al. (2003) não observaram menor eliminação de cobre em frangos alimentados com este mineral complexado com aminoácidos em relação àqueles alimentados com sulfato de cobre. Mohanna e Nys (1999) também não encontraram evidências de que a Zn-metionina promove diminuição na eliminação de zinco nas excretas, quando comparada com o sulfato de Zn.

A homeostase do Zn é amplamente regulada pela sua absorção e perda pelo intestino delgado, embora um número de transportadores de Zn e proteínas de ligação tenham sido identificados nas células epiteliais das vilosidades (DUKES, 1993). A excreção intestinal de Zn ocorre pela liberação de células epiteliais e nas secreções pancreáticas e biliares (KREBS, 2000).

Vários fatores nutricionais foram identificados que modulam a absorção de Zn; certas proteínas animais na dieta aumentam a absorção do mineral. Fitatos de material vegetal (incluindo grãos de cereais, milho, arroz) formam quelatos de Zn e inibem a sua absorção. Supõe-se que a subsistência de dietas ricas em fitatos é responsável por uma fração considerável das deficiências de zinco no organismo (LONNERDAL, 2000).

A quantidade de Fe no organismo é controlada pela sua absorção intestinal, e em menor quantidade pela sua excreção urinária e biliar. Ainda não se conhece o

mecanismo exato de regulação intestinal de ferro, posto que, usualmente, ocorre perda de ferro apenas por meio da perda sanguínea devido à ferida externa ou por sangramento ou descamação do trato digestivo (MIRET, 2003). O organismo possui mecanismos de regulação engenhosos para prevenir a absorção de Fe devido a sua perda ser desprezível em condições normais (MIRET, 2003).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os minerais desempenham papéis importantes no metabolismo animal. Em baixas concentrações, são nutrientes essenciais e exercem funções como cofatores enzimáticos; na forma orgânica, os minerais apresentam maior biodisponibilidade e buscam melhorar o aproveitamento dos nutrientes e aumentar a produtividade dos animais, bem como reduzir a excreção mineral, pois a preocupação com a preservação do meio ambiente também deve ser uma constante dentro das criações.

Futuros estudos são necessários para compreender melhor os mecanismos envolvidos na digestão, absorção e excreção do mineral orgânico no trato digestivo, bem como estudos de comparação de disponibilidade biológica entre as fontes disponíveis para alimentação animal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLAH, A.G.; HARMS, R.H.; WILSON, H.R. et al. Effect of removing trace minerals from the diet of hens laying eggs with heavy or light shell weight. **Poultry Science**, v.73, p.295-301, 1994.

AIRES, Margarida M. **Fisiologia**. 2. ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

ASHMEAD, H. D. **Comparative intestinal absorption and subsequent metabolism of metal amino acid chelates and inorganic metal salts**. New Jersey: Noyes Publications, 1993.

ASSOCIATION OF AMERICAN FEED CONTROL OFFICIALS - AAFCO. Official Publication. Atlanta; 2000. 266p.

BELL, D. D. 2002. Anatomy of the Chicken. In: **Commercial chicken meat and egg production**. 5a ed., p. 41-58, 2002.

BERG, C. et al. Embryonic exposure to oestrogen causes eggshell thinning and altered shell gland carbonic anhydrase expression in the domestic hen. **Reproduction, Cambridge**, v. 128, n. 4, p.455-461, Oct. 2004.

BERTECHINI A.G, Exigências de minerais para aves. In: SAKOMURA, N.K. et al. **Nutrição de Não-ruminantes**. Jaboticabal: FUNEP, p. 375-388, 2014.

BERTECHINI, A. G. **Nutrição de monogástricos**, v.2, p. 209-212, 239-254, 2012.

_____. **Nutrição de Monogástricos**. 1 ed. Lavras: Editora UFLA, p.169-211, 2006.

BOLELI I.C.; MAIORKA A.; MACARI M. **Estrutura funcional do trato digestório**. In: Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte. Jaboticabal: Funep; 2002. p. 75-96.

BRITO, J.A.G.; BERTECHINI, A.G.; FASSINI, E.J. et al. 2006. Uso de microminerais sob a forma de complexo orgânico em rações para frangas de reposição no período de 7 a 12 semanas de idade. **R. Bras. Zootec.**, v.35, n.4, p.1342-1348.

BUFF, C.E. et al. Comparison of growth performance and zinc absorption, retention, and excretion in weanling pigs fed diets supplemented with zinc-polysaccharide or zinc oxide. **Journal of Animal Science**, v.83, n.10, p.2380-2386, 2005.

BURRELL, A.L.; DOZIER, W.A.; DAVIS, A.J.; COMPTON, M.M.; FREEMAN, M.E.; VENDRELL, P.F. et al. Responses of broilers to dietary zinc concentrations and sources in relation to environmental implications. **British Poultry Science**, 2004; 45(2): 255-263.

CARVALHO, L.S.S. et al. Trace organic minerals as a replacement of inorganic sources for layers: effects on productivity and mineral excretion. **Revista Científica Eletrônica De Medicina Veterinária**. Ano XI – Número 20, 2013.

CHESTERS, J. Zinc. In: **Handbook of Nutritionally Essential Mineral Elements**. New York, NY, 1997, p. 185-231.

COMBS, G. F.; COMBS, S. B. **The role of selenium in nutrition**. New York: Academic Press, 1986.

COUSINS, R. J. Gastrointestinal factors influencing zinc absorption and homeostasis. **Int. J. Vitam. Nutr. Res.** 80:243–248, 2010.

CRICHTON, R.R; WILMET, S.; LEGSSYER, R.; WARD, R.J. Molecular and cellular mechanisms of iron homeostasis and toxicity in mammalian cells. **Journal of Inorganic Biochemistry**, v.91, p.9-18, 2002.

CUNNINGHAM, J. G. **Tratado de fisiologia veterinária**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1999.

DENBOW, M. **Gastrointestinal anatomy and physiology**. In: *Sturkie's avian physiology*. 5 ed. Academic press, London, p. 299-325, 2000.

DOZIER III, W. A. et al. Early growth and environmental implications of dietary zinc and copper concentrations and sources of broiler chicks. **British Poultry Science**, London, v. 44, n. 5, p. 726-731, 2003.

DUKES, H. H. **Fisiologia dos Animais Domésticos**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A., 1993.

EVANS, G. W.; T. WINTER. Zinc transport by transferrin in rat portal blood plasma. **Biochem. Biophys. Res. Commun.** 66:1218–1224, 1975.

FARIA, C.R. Manual de Laboratório de Fisiologia Vegetal. In: **Absorção e Metabolismo de Sais**. Edunb. Brasília, DF. pp. 13-14, 2000.

FAVERO, A. et al. Development of bone in chick embryos from Cobb 500 breeder hens fed diets supplemented with zinc, manganese, and copper from inorganic and amino acid- complexed sources. **Poultry Science.** 92 :402–411, 2013.

FUNARI JÚNIOR, P. **Efeitos de diferentes fontes e níveis de selênio sobre o desempenho e a imunidade humoral de frangos de corte.** 56f. Dissertação (Mestrado)–Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade de São Paulo, 2008.

GEORGIEVSKI, V.I. Mineral nutrition of animals. London: Butterworths, 475p., 1982.

GOPALSAMY, G. L. et al. **The relevance of the colon to zinc nutrition.** *Nutrients* 7:572– 583, 2015.

GUTH, D.; W. ENGELHARDT. Is gastrointestinal mucus an ion-selective barrier? In: **Symposia of the Society for Experimental Biology**, No. XLIII, Mucus and related Topics (E. Chanter e N. A. Ratcliffe, eds). Cambridge Society for Experimental Biology, Cambridge, pg 117-121, 1989.

GUYTON, A. C.; J. E. HALL. **Tratado de Fisiologia Médica.** 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1997.

HERRICK, J.B. Mineral in animal health. In: ASHMEAD, H.D. (Ed.). **The roles of amino acid chelates in animal nutrition.** New Jersey: Noyes, p.3-9. 1993.

INÁCIO, A.F. **Metalotioneína e Metais em Geophagus brasiliensis – Acará.** Dissertação de Mestrado, Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2006.

JAROSZ, Ł. S. et al. The effect of feed supplementation with a copper- glycine chelate and copper sulphate on selected humoral and cell- mediated immune parameters, plasma superoxide dismutase activity, ceruloplasmin and cytokine concentration in

broiler chickens. **Journal of animal physiology and animal nutrition**, v. 102, n. 1, p. e326-e336, 2018.

JEGEDE, A. V. et al. Effect of dietary copper on performance, serum and egg yolk cholesterol and copper residues in yolk of laying chickens. **Slovak Journal of Animal Science**, 48(1), 29-36, 2015.

KETTA, M.; TUMOVÁ, D. Interactions of genotype, housing and dietary calcium in layer performance, eggshell quality and tibia characteristics. **South African Journal of Animal Science**, 46(3), 285-293, 2016.

KIEFER, C. Minerais quelatados na nutrição de aves e suínos. **Revista Eletrônica Nutritime**, v.2, n.3, p.206-220, 2005.

KREBS NF: Visão geral da absorção e excreção de zinco no trato gastrointestinal humano. **J Nutrition** 130: 1374S-1377S, 2000.

LEACH J.R.; R. M.; MUENSTER, A.; WIEN, E. M. Studies on the role of manganese in bone formation: II. Effect upon chondroitin sulfate synthesis in chick epiphyseal cartilage. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 133, p. 22, 1969.

LEESON, S.; SUMMERS, J.D. **Nutrition of the chicken**. 4 ed. Guelph, Ontario: University Books, 4 ed, 2001. 591p.

LEVENSON, C.W.; TASSABEHJI, N.M. Iron and ageing: an introduction to iron regulatory mechanisms. **Ageing research reviews**, v.3, p.251-263, 2004.

LONNERDAL B: Fatores dietéticos que influenciam a absorção de zinco. **J Nutrition** 130: 1378S-1385S, 2000.

MABE, I. et al. Supplementation of a corn- soybean meal diet with manganese, copper and zinc from organic and inorganic sources improves eggshell quality in aged laying hens. **Poultry Science**, v. 82, n. 7, p. 1903–1913, Dec. 2003.

MACARI, M.; FURLAN, R.L.; GONZALES, E. Absorção de minerais. In: MAIORKA, A.; MACARI, M. **Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte**. 2 ed. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 2002, P.167-174.

MACINNIS, A., et al. Specificity of amino acid transport in the tapeworm *Hymenolepis diminuta* and its rat host. **Rice University Studies**, 62:183, 1976.

MAIORKA, A. Impacto da saúde intestinal na produtividade avícola. V Simpósio Brasil Sul de Avicultura. **Anais...** Chapecó, 26-41, 2004.

MAO, X. et al. A histidine-rich cluster mediates the ubiquitination and degradation of the human zinc transporter, hZIP4, and protects against zinc cytotoxicity. **J. Biol. Chem.** 282:6992–7000, 2007.

MATTHEWS, D.; BURSTIN, D. Intestinal transport of peptides. In: KRAMER, M.; LOUTERBACH, F. (Eds.). **Intestinal Permeation** (Amsterdam: Excerpta Medica) 136, 1977.

MEISTER, A.; TATE, S. S. Glutathione and Related gamma-glutamyl compounds: biosynthesis and Utilization. In: SNELL, E.E. et al. (eds.). **Annual Review of Biochemistry** 45:559, 1976.

MEISTER, A. Biochemistry of Glutathione. In: Greenberg, D. (Ed.). **Metabolism of Sul fur Compounds, Metabolic Pathways** (New York: Academic Press), p. 101-188, 1975.

_____. **On the Enzymology of amino acid transport.** *Science*, 180:33, 1973.

MIRET, S.; SIMPSON, R.J.; MCKIE, A.T. Fisiologia e biologia molecular da absorção de ferro. **Ann Rev Nutr** 23: 283-301, 2003.

MOBARAKI, M. A.; SHAHRYAR, H. A. The impact of different levels of vitamin E and selenium on the performance, quality and the hatchability of eggs from breeding Japanese quails. **Iranian Journal of Applied Animal Science**, 5, 927–932, 2015.

MOHANNA, C.; NYS, Y. Effect of dietary zinc content and sources on the growth, body zinc deposition and retention, zinc excretion and immune response in chickens. **British Poultry Science**, v. 40, n. 1, p. 108-114, 1999.

NEATHERY, M.W. et al. Effect of chemical form of orally administered Zn-65 on absorption and metabolism in cattle. **Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine**, v. 139-953, 1972.

NOLLET, L.; HUYGHEBAERT, G.; SPRING, P. Effect of different levels of dietary organic (Bioplex) trace minerals on live performance of broiler chickens by growth phases. **J. App. Poult. Res.** 17: 109-115, 2008.

NUNES, J.K. et al. Qualidade de ovos e resistência óssea de poedeiras alimentadas com minerais orgânicos. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.65, n.2, p.610-618, 2013.

NYS, Y.; GAUTRON, J. Structure and formation of the eggshell. In: HUOPALAHTI, R.; LÓPEZ-FADIÑO, R.; ANTON, M.; SCHADE, R. **Bioactive egg compounds**. Berlim: Springer-Verlag, 2007. cap. 15, p. 99- 102.

O'DELL, B.L. Zinc plays both structural and catalytic roles in metalloproteins. **Nutrition Reviews** 50: 539-452, 1992.

PALERMO-Neto J. et.al. **Farmacologia aplicada à avicultura**. 1. ed. São Paulo: Roca, 2005.

PARK, S. W.; NAMKUNG, H.; AHN, H. J.; PAIK, I. K. Production of iron enriched eggs of laying hens. **Asian Australasian Journal of Animal Sciences**, 17(12), 1725-1728, 2004.

PAYNE, R. L.; LAVERGNE, T. K.; SOUTHERN, L. L. Effect of inorganic versus organic selenium on hen production and egg selenium concentration. **Poultry Science**, v. 84, p. 232–237, 2005.

PETERING, D. H.; A. MAHIM. Proteomic high affinity Zn⁺² trafficking: Where does metallothionein fit in. **Int. J. Mol. Sci.** 18: E1289, 2017.

POLLI, S.R. Minerais orgânicos na alimentação de cães e gatos. **Bol. Inf. Nutron Pet**, v.1, p.3, 2002.

POWER, R. Organic mineral absorption: Molecular mimicry or modified mobility. In: Nutritional Biotechnology in the Feed and Food Industries, **Proceedings of the 22th Annual Symposium**. Nottingham Univ. Press, Nottingham, UK, pp.228-235, 2006.

RICHARDS, J.; J. DIBNER. Organic trace minerals are not all equally effective. **World Poultry** vol 21 (9): 17-19, 2005.

RUBIO ZAPATA, N. K. **Effect of Increasing Levels of Dietary Zinc (Zn), Manganese (Mn), and Copper (Cu) from Organic and Inorganic Sources on Egg Quality and Egg Zn, Mn, and Cu Content in Laying Hens.** LSU Digital Commons, 2016.

RUTZ, F.; PAN, E.; XAVIER, G. (2007). Efeito de minerais orgânicos sobre o metabolismo e desempenho de aves. **Revista Aveworld.** Disponível em< <http://www.aveworld.com.br/index.php/documento/141>. Acesso em: 13/07/2018.

RUTZ, F.; MURPHY, R. Minerais orgânicos para aves e suínos. In: Congresso Brasileiro de Nutrição Animal, Campinas, SP. **Anais...** 2009.

SALIM, H.M.; JO, C.; LEE, B.D. Zinc in broiler feeding and nutrition. **Avian Biology Research** 1: 5-18, 2008.

SANTOS, R. D. Metabolismo básico e origem dos metabólitos secundários. pp 403-434, 2004. In: SIMÕES C.M.O. et al. (ed.), **Farmacognosia da Planta ao Medicamento.** Editora da UFRGS/Editora da UFSC, Porto Alegre.

SCOTT, M.L.; NESHEIN, M.C.; YOUNG, R.J. **Nutrition of the chicken.** 3 ed. New York: M.L. Scott, 1982, 562p.

SECHINATO, A.S.; ALBUQUERQUE, R.; NAKADA, S. Efeito da suplementação dietética com micro minerais orgânicos na produção de galinhas poedeiras. **Braz. J. Vet. Res. Anim. Sci.**, v.43, p.159-166, 2006.

TORRES CAMACHO, V.; ALÍ PAZ, G. I. Metabolismo de proteínas. **Revista de Actualización Clínica Investiga**, 41, 2137, 2014.

UNDERWOOD, E.J. **The mineral nutrition of livestock.** 3 ed. Wallingford: CABI, 1999, 614p.

VAN DER KLIS, J. D.; KEMME, A.D. An appraisal of trace elements: Inorganic and organic. In **Poultry Feedstuffs: Supply, Composition and Nutritive Value.** MCNAB, J. M.; BOORMAN, K. N. (ed.). CAB Int., Wallingford, UK. pp. 99–108, 2002.

WOOTON-KEE, C. et al. Elevated copper impairs hepatic nuclear receptor function in Wilson's disease. **J Clin Invest.** 2015.

YAMAUCHI, K.E.; ISSHIKI, Y. Scanning electron microscopic observations on the intestinal villi in growing White Leghorn and broiler chickens from 1 to 30 days of age. **British Poultry Science**, 32: 67-78, 1991.

YENICE, E. et al. 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**, 167(2), 300-307, 2015.

YILDIZ, A.Ö.; CUFADAR, Y.; OLGUN, O. Effects of dietary organic and inorganic manganese supplementation on performance, egg quality and bone mineralization in laying hens. **Revue de Medecine Veterinaire** 162: 482-488, 2001.

YILMAZ DIKMEN, B. et al. Effects of Supplementary Mineral Amino Acid Chelate (ZnAA - MnAA) on the Laying Performance, Egg Quality and Some Blood Parameters of Late Laying Period Layer Hens. **Kafkas Univ Vet Fak Derg** 21 (2): 155-162, 2015.

ZAMANI, A.; RAMAHNI, H.R.; POURREZA, J. Supplementation of a corn-soybean meal diet with manganese and zinc improve eggshell quality in laying hens. **Pak. J. Biol. Sci.**, v.8, p.1311-1317, 2005.

CAPÍTULO II

**DESEMPENHO E QUALIDADE DE OVOS DE POEDEIRAS LEVES
SUPLEMENTADAS COM ZINCO, COBRE, MANGANÊS, SELÊNIO E FERRO
COMPLEXADOS A AMINOÁCIDOS**

RESUMO

Fontes de microminerais complexados a moléculas orgânicas têm melhorado sua absorção e metabolismo pelas aves. A pesquisa foi conduzida para avaliar os efeitos da suplementação dos microminerais Zinco (Zn), Manganês (Mn), Cobre (Cu) Ferro (Fe) e Selênio (Se) com substituição total da fonte inorgânica sobre o desempenho e qualidade interna e externa dos ovos de galinhas poedeiras. Foram utilizadas quatrocentas galinhas poedeiras da linhagem Lohmann White durante o período de 78 a 98 semanas de idade. As aves foram alojadas em gaiolas e distribuídas de acordo com delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro tratamentos e dez repetições de dez aves por unidade experimental. Os tratamentos consistiram em quatro dietas, com a substituição total da fonte mineral inorgânica por fonte de microminerais complexado a aminoácidos (MCAA) com redução do níveis de suplementação em 30, 50 e 60%, respectivamente, como sendo: T1-Dieta controle com apenas fontes de minerais inorgânicos nos níveis de: 60mg/kg de Zn; 60mg/kg de Mn; 7mg/kg de Cu; 40mg/kg de Fe; 0.2 mg/kg de Se e 2.0 mg/kg Iodato de cálcio. T2- Dieta 100% MCAA com níveis de 42mg/kg de Zn; 42mg/kg de Mn; 4.9mg/kg de Cu; 28mg/kg de Fe; 0.14 mg/kg de Se e 1.4mg/k de Iodato de cálcio. T3- Dieta 100% MCAA com níveis de 30mg/kg de Zn; 30mg/kg de Mn; 3.5mg/kg de Cu; 20mg/kg de Fe; 0.10 mg/kg de Se e 1.4mg/k de Iodato de cálcio. T4- Dieta 100% MCAA com níveis de 24mg/kg de Zn; 24mg/kg de Mn; 2.8 mg/kg de Cu; 16mg/kg de Fe; 0.08 mg/kg de Se e 1.4mg/k de Iodato de cálcio. Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste Tukey ($P < 0,05$). A suplementação do mineral MCAA aumentou significativamente a produção, peso e massa de ovo à medida que foram reduzindo a quantidade do mineral MCAA, tendo o tratamento com redução de 60% os melhores resultados quando comparado às demais dietas, sendo que a dieta-controle apresentou as menores médias. As aves alimentadas com MCAA apresentaram melhor conversão por massa e por dúzia de ovos; a dieta com redução de 60% apresentou melhor conversão por massa e por dúzia de ovos quando comparada aos demais tratamentos. Em relação aos parâmetros coletados dos ovos observou-se diferença significativa para espessura da casca, tendo a dieta com redução de 60% MCAA apresentado o melhor resultado em relação à dieta controle e às dietas com redução de 30 e 50% do MCAA. A suplementação de dietas de

poedeiras com MAC na fase de produção melhorou o desempenho e os parâmetros de qualidade dos ovos.

Palavras-chave: Fonte mineral. Mineral amino-complexado. Produção de ovos. Qualidade de casca.

ABSTRACT

The use of sources of microminerals complexed to organic molecules has provided improved absorption and metabolism thereof by birds. The present study proposes to evaluate the effects of supplementing the microminerals Zinc (Zn), Manganese (Mn), Copper (Cu), Iron (Fe), and Selenium (Se), while replacing their inorganic source in the diet, on the performance and internal/external egg quality of laying hens. Four hundred Lohmann White laying hens from 78 to 98 weeks of age were housed in cages and assigned to four treatments in a completely randomized design with ten replicates and ten birds per experimental unit. Treatments (T) consisted of four diets in which the inorganic mineral source was fully replaced by a source of amino acid-complexed microminerals (AACM), with supplementation levels reduced by 30%, 50%, and 60%, respectively, as follows: T1 - Control diet, containing only inorganic mineral sources at the following levels: 60 mg/kg Zn, 60 mg/kg Mn, 7 mg/kg Cu, 40 mg/kg Fe, 0.2 mg/kg Se, and 2.0 mg/kg calcium iodate; T2 - 100% ACM with 42 mg/kg Zn, 42 mg/kg Mn, 4.9 mg/kg Cu, 28 mg/kg Fe, 0.14 mg/kg Se, and 1.4 mg/kg calcium iodate; T3 - 100% AACM with 30 mg/kg Zn, 30 mg/kg Mn, 3.5 mg/kg Cu, 20 mg/kg Fe, 0.10 mg/kg Se, and 1.4 mg/kg calcium iodate; and T4 - 100% AACM with 24 mg/kg Zn, 24 mg/kg Mn, 2.8 mg/kg Cu, 16 mg/kg Fe, 0.08 mg/kg Se, and 1.4 mg/kg calcium iodate. The data were subjected to analysis of variance and Tukey's test ($P < 0.05$). Supplementation with AACM significantly increased egg production, weight, and mass as the amounts of minerals in AACM were reduced. The treatment with a 60% reduction provided better results than the other diets, and control treatment provided the lowest means. Birds fed AACM showed the best conversion per egg mass and per dozen eggs. The diet with a 60% reduction resulted in the best conversion per egg mass and per dozen eggs. For egg-related traits, a significant difference was found in shell thickness, for which the diet with AACM reduced by 60% provided better results than control diet and the diets with 30% and 50% reductions. Dietary supplementation with AACM for layers in the production stage improves their performance and egg-quality traits.

Key words: Mineral source. Amino acid-complexed mineral. Egg production. Eggshell quality.

INTRODUÇÃO

Um dos grandes problemas enfrentados pela avicultura de postura na atualidade, está relacionado principalmente a qualidade interna e externa dos ovos, especialmente a resistência da casca, sendo este um parâmetro que pode influenciar a produtividade e a aceitação pelo consumidor.

NEUMAN & LEESON (1997) relatam que a depleção do cálcio estrutural presente no esqueleto em poedeiras altamente produtoras bem como em aves mais velhas, aumentam as exigências dietéticas dos minerais para a formação da casca dos ovos. Estas aves são propensas a osteoporose, ovos de casca fina e ovos sem casca (ABE ET AL., 1982). A redução da qualidade da casca ocorre de forma gradativa no decorrer do ciclo produtivo das aves, especialmente em aves mais velhas, sendo estimada uma perda de até 5 a 10% decorrentes do aumento da incidência de ovos de casca fina, deformados e trincados (COUTTS et al., 2007; KETTA; TUMOVÁ, 2016).

A suplementação de microminerais complexados a aminoácidos, associados ou em substituição às fontes inorgânicas, em especial o cobre, zinco, manganês e ferro, bem como o selênio, é uma estratégia de manejo nutricional que vem sendo aplicada na tentativa de reduzir as perdas relacionadas a qualidade da casca dos ovos (FAVERO et al., 2013), visto que podem melhorar a qualidade do ovo, pois favorecem os processos absorptivos, sendo justificado pela absorção ativa do aminoácido e pela redução das interações dos minerais nas formas iônicas com consequente aumento da biodisponibilidade (YILMAZ DIKMEN et al., 2015).

Os minerais complexados a moléculas orgânicas são melhores aproveitados em razão das suas características de estabilidade no trato gastrointestinal; a ligação entre os íons metálicos ligados a substâncias orgânicas pode torná-las mais estáveis e menos sujeitas às interações antagônicas (RICHARDS et al., 2010). Proporcionando assim maior rapidez na absorção, resultando na melhor qualidade dos ovos.

O efeito sobre a qualidade dos ovos é justificado pelo aumento da biodisponibilidade dos minerais no lúmen intestinal e pode estar relacionado com o processo de calcificação dos ovos (FAVERO et al., 2013). Fontes de minerais complexados surgiram com a perspectiva de serem mais facilmente absorvidas e retidas pelas aves, diminuindo sua inclusão nas dietas sem comprometer o desempenho,

reduzindo, assim, a excreção de minerais, traço que potencialmente polui o meio ambiente (ZAMANI et al., 2005).

Nesse sentido, objetivou-se avaliar o efeito da substituição total de Zn, Mn, Cu, Fe e Se complexados a aminoácidos em substituição às fontes convencionais em dietas de poedeiras sobre os índices de desempenho e qualidade dos ovos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Todas as práticas de manejo, bem como abate e procedimentos de amostragem da presente pesquisa, foram aprovadas pela comissão de Ética no Uso de Animais – CEUA, da Universidade Federal Rural de Pernambuco (CEUA, N° 15/2017).

Local

O experimento foi realizado nas instalações de Pesquisa da Estação Experimental de Pequenos Animais de Carpina (EEPAC), localizada no município de Carpina (Latitude: 07°51'03" S e Longitude: 35°15'17" W), Zona da Mata Norte, Pernambuco, Brasil.

Aves e instalações

Foram utilizadas um total de 400 poedeiras leves da linhagem Lohmann White, com idade entre 78 a 98 semanas, alojadas em gaiolas com dimensões de 100 x 40 x 45 cm (10 aves/gaiola) instaladas em galpão convencional de alvenaria coberto com telhas de barro. A ração e a água foram oferecidas à vontade durante toda a fase experimental. O fotoperíodo foi de 16 horas (natural + artificial). A temperatura e umidade relativa do ar no interior do galpão foram registrados diariamente por meio de termohigrômetros digitais (Incoterm) e Datalogger (Figura 1).

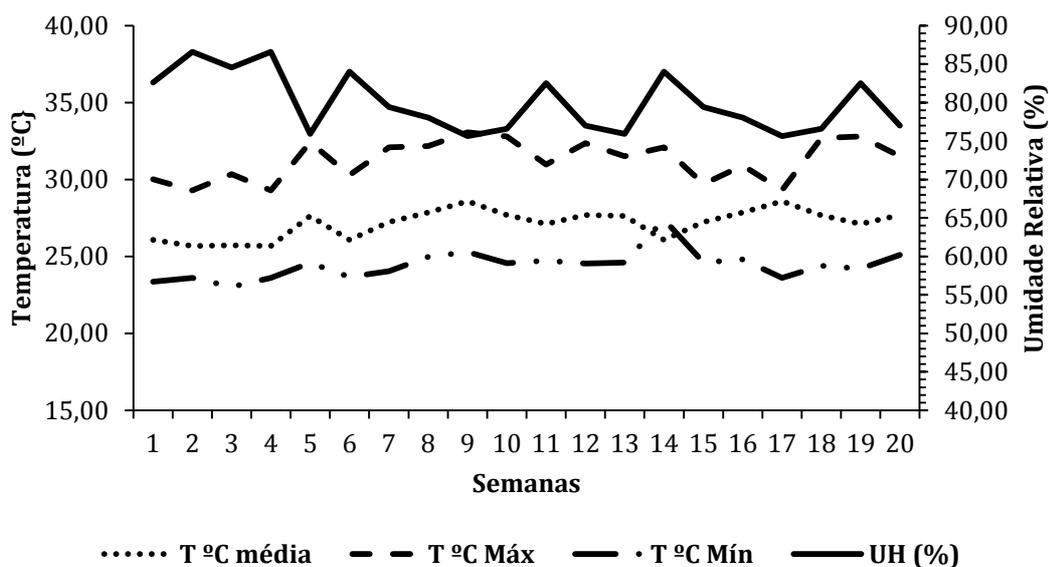


Figura 1. Variação média da temperatura máxima e mínima (T, °C) e Umidade relativa do ar (UH, %), durante o período experimental.

Delineamento e dietas experimentais

A fase de produção teve duração de 140 dias, divididos em cinco períodos de 28 dias cada. As aves foram distribuídas de acordo com delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro tratamentos e dez repetições de dez aves por parcela experimental. Os tratamentos consistiram em quatro dietas, com a substituição total da fonte mineral inorgânica por fonte de mineral complexada a aminoácidos (MCAA) com redução do nível de suplementação de 30, 50 e 60% dos níveis dos minerais, respectivamente. T1: Dieta-controle com apenas fontes de minerais inorgânicos; T2: Dieta suplementada com MCAA e redução de 30% nos níveis dos minerais; T3: Dieta suplementada com MCAA e redução de 50% nos níveis dos minerais e T4: Dieta suplementada com MCAA e redução de 60% nos níveis dos minerais. A composição dos premixes minerais encontra-se descrita na Tabela 1, e as dietas na Tabela 2.

Tabela 1. Descrição detalhada dos tratamentos

Tratamentos	Níveis dos microminerais nas dietas (mg/kg)					
	Zn	Mn	Cu	Fe	Se	I
T1 (100% Inorgânica) ¹	60	60	7.0	40	0.20	2.0
T2 (30% MCAA) ²	42	42	4.9	28	0.14	1.4
T3 (50% MCAA) ³	30	30	3.5	20	0.10	1.0
T4 (60% MCAA) ⁴	24	24	2.8	16	0.08	0.8

¹ Suplementação por kilograma do produto: Óxido de Zinco, 60mg/kg; Óxido de Manganês, 60mg/kg; Sulfato de Cobre, 7mg/kg; Sulfato de Ferro, 40mg/kg; Selenito de sódio, 0.2 mg/kg e Iodato de cálcio, 2.0 mg/kg.

² Suplementação por kilograma do produto: Zinco, 42mg/kg; Manganês, 42mg/kg; Cobre, 4.9mg/kg; Ferro, 28mg/kg; Selênio, 0.14mg/kg; Iodato de cálcio, 1.4mg/kg.

³ Suplementação por kilograma do produto: Zinco, 30mg/kg; Manganês, 30mg/kg; Cobre, 3.5mg/kg; Ferro, 20mg/kg; Selênio, 0.10mg/kg; Iodato de cálcio, 1.4mg/kg.

⁴ Suplementação por kilograma do produto: Zinco, 24mg/kg; Manganês, 24mg/kg; Cobre, 2.8mg/kg; Ferro, 16mg/kg; Selênio, 0.08mg/kg; Iodato de cálcio, 1.4mg/kg.

Tabela 2. Composição da dieta experimental

Ingredientes	%
Milho	59,74
Farelo Soja	25,00
Óleo Soja	1,700
Calcário calcítico	10,86
Fostato bicálcico	0,92
Bicarbonato de sódio	0,15
Sal comum	0,29
DL-Metionina 99 %	0,29
L-Treonina 98.5%	0,05
Phytase AB Vista ¹	0,006
Premix Vitamínico ²	0,10
Premix Mineral	0,15
Inert (areia)	0,64
Adsorbent ³	0,10
Total	100,00
Níveis Nutricionais	
Energia Metabolizável (kcal/kg)	2,750
Proteína Bruta, %	16,09
Cálcio, %	4,500
Fósforo disponível, %	0,410
Lisina digestível, %	0,760
Metionina digestível, %	0,526
Met. + Cist. digestível, %	0,744
Treonina digestível,%	0,585
Sódio	0,180
Extrato etéreo, %	4,253
Fibra bruta, %	2,523
Colina	1063,5
Na+K+Cl (Meq)	180,08

¹ Suplementação por kilograma do produto: Phytase (mín) 10.000 FTU/g. 4 923.

² Suplementação por kilograma do produto: Vitamina A (mín): 8.000.000 IU/kg, Vitamina D3 (mín): 2.500.000 IU/kg, Vitamina E (mín): 6.000 IU/kg, Vitamina K3 (mín): 1.000 mg/kg, Vitamina B1 (mín): 1.000 mg/kg, Vitamina B2 (mín): 4.500 mg/kg, Vitamina B6 (mín):2.000 mg/kg, Vitamina B12 (mín) 12.000 mcg/kg, Niacina (mín): 15 g/kg, Calcium pantothenate (mín): 6.000 mg/kg, folic acid (mín): 400 mg/kg, Biotin (mín): 25 mg/kg.

³Suplementação por kilograma do produto: Hydrated sodium and calcium aluminosilicates: 0.10mg g/kg

Desempenho

Foram avaliados a produção média de ovos por ave (%), o consumo de ração (g/ave/dia), o peso dos ovos (g), a massa de ovos (g/ave/dia) e a conversão alimentar (g/massa e g/dúzia). As coletas dos ovos foram realizadas diariamente no período da tarde. Para efeito de correção da conversão alimentar, as aves mortas foram pesadas, assim como as sobras de ração, conforme metodologia descrita por Sakomura e Rostagno (2007).

Qualidade dos ovos

Nos três últimos dias de cada período foram coletados três ovos por unidade experimental, totalizando 30 ovos por tratamento, para avaliação das variáveis de qualidade de ovos: peso do ovo (g), peso do albúmen (g), peso da gema (g), altura de albúmen (mm), cor da gema, peso da casca (g), espessura da casca (mm) e porcentagens de gema, albúmen, casca e Unidade Haugh. Para determinação da altura do albúmen, os ovos foram quebrados e o seu conteúdo (clara + gema), colocados em uma superfície plana e nivelada. Em seguida, era mensurada a altura do albúmen (mm) com auxílio de paquímetro digital. Para o cálculo da Unidade Haugh foram utilizados os valores do peso do ovo (w, g) e altura do albúmen (h, mm), utilizando a equação descrita por Card e Nesheim (1966): $UH = 100 \log (h + 7,57 - 1,7w^{0,37})$, onde: UH= unidade Haugh, h= altura de albúmen e w= peso do ovo.

Posteriormente, as gemas foram separadas do albúmen e pesadas em balança de precisão. As cascas dos ovos foram secas ao ar por um período de 48 horas, para serem pesadas e realizada as medições de sua espessura utilizando um paquímetro digital. O cálculo da porcentagem de gema e da casca foi realizado de acordo com o peso da gema e casca em relação ao peso do ovo. A porcentagem de albúmen foi determinada em relação ao peso do ovo por meio da diferença pela equação $100 - (\% \text{ de gema} + \% \text{ de casca})$. Para a colorimetria da gema foi utilizado o leque colorimétrico numa escala de valores de 1 a 15 (DSM®).

Análises Estatísticas

Foram testadas as pressuposições dos erros da normalidade e homocedasticidade. Em seguida, os dados foram analisados pelo Proc GLM do programa de Analysis System versão 3.1 (SAS, 2009) e em caso de significância as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

RESULTADOS

Os dados de desempenho no período total (78 a 98 semanas de idade) das aves

alimentadas ou não com MCAA durante a fase de produção estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Desempenho de poedeiras com 78 a 98 semanas de idade alimentadas com diferentes fontes de minerais.

Tratamentos	CR (g/ave/dia)	PR (%)	PO (g)	MO (g/ave/dia)	CMO, (g/MO)	CDZ, (g/dz)
T1 (100%Inorg)	104,81	73,58 ^b	67,92 ^b	49,96 ^b	2,021 ^a	1,674 ^a
T2 (30% MCAA)	104,92	76,70 ^{ab}	67,91 ^b	52,40 ^{ab}	2,014 ^a	1,651 ^{ab}
T3 (50% MCAA)	104,23	77,98 ^{ab}	68,09 ^{ab}	53,16 ^{ab}	1,974 ^a	1,611 ^{ab}
T4 (60% MCAA)	102,77	80,04 ^a	69,11 ^a	55,33 ^a	1,885 ^b	1,561 ^b
Média	104,20	73,32	68,27	52,71	1,970	1,621
CV (%)	2,10	5,83	1,41	5,79	3,99	4,86
SEM	0,368	0,779	0,169	0,556	0,015	0,014
P-value	0,154	0,022	0,026	0,004	0,002	0,021

^{a, b, c} Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p < 0.05$); CV = Coeficiente de variação.; CMO – conversão massa de ovo; CDZ conversão por dúzia ovos

A suplementação com MCAA aumentou a produção de ovos, peso e massa de ovo a medida que foram reduzindo as quantidades dos minerais, tendo o pior resultado para aquelas aves alimentadas com minerais na forma inorgânica, o mesmo ocorrendo em relação à conversão alimentar.

A cor da gema, altura de albúmen, peso do albúmen, peso de gema, peso da casca e unidade Haugh, bem como os percentuais de gema, albúmen e casca não foram influenciados pelos tratamentos experimentais (Tabela 4). Porém, observou-se diferença para espessura da casca, tendo maior valor nos ovos das aves alimentadas com dietas contendo 60% de MCAA (Tabela 4).

Tabela 4. Peso dos constituintes dos ovos de poedeiras com 78 a 98 semanas de idade alimentadas com diferentes fontes de minerais

Treatments	Cor	Altura do albúmen (mm)	Peso do Albúmen (g)	Peso da casca (g)	Peso da gema (g)	Unidade Haug
T1 (100%Inorg)	5,18	8,20	40,76	6,24	18,31	88,46
T2 (30%MCAA)	5,20	8,41	40,97	6,13	17,95	89,59
T3 (50%MCAA)	5,15	8,55	40,68	6,21	18,25	90,41
T4 (60%MCAA)	5,15	8,37	41,49	6,16	18,10	89,16
Média	5,17	8,38	40,98	6,19	18,15	89,41
CV (%)	2,93	3,51	2,42	2,40	2,83	1,89
SEM	0,023	0,049	0,161	0,023	0,081	0,280
P-value	0,872	0,082	0,279	0,407	0,420	0,092

Tratamentos	Ovosopia	Espessura da casca (mm)	Albúmen (%)	Casca (%)	Gema (%)
T1 (100%Inorg)	2,31	0,407 ^b	60,72	9,31	27,35
T2 (30%MCAA)	2,22	0,410 ^b	61,43	9,14	27,02
T3 (50%MCAA)	2,28	0,418 ^{ab}	60,83	9,30	27,35
T4 (60%MCAA)	2,42	0,424 ^a	61,46	9,12	26,84
Média	2,31	0,414	61,12	9,22	27,14
CV (%)	8,35	2,62	1,33	2,04	2,54
SEM	0,032	0,002	0,134	0,031	0,112
P-value	0,171	0,004	0,114	0,051	0,277

^{a, b, c} Means followed by different letters in the same column differ statistically by the Tukey test ($p < 0.05$); CV = Coefficient of variation.

DISCUSSÃO

Melhoria nos resultados de performance e qualidade dos ovos de galinhas poedeiras foram comprovados com o uso de minerais complexados a aminoácidos não específicos. Stefanello et al. (2014), trabalhando com uma fonte orgânica de Zn, Mn e Cu na forma de proteinatos para poedeiras entre 47 e 62 semanas de idade observaram aumento no peso e massa de ovos quando as aves foram alimentadas com a fonte orgânica em comparação a fonte convencional. Nunes et al. (2013) observaram ovos

mais pesados, com maior peso de albúmen, quando suplementaram dietas com uma fonte orgânica de Zn, Mn, Fe e Cu na forma de proteinatos em substituição parcial aos minerais inorgânicos para poedeiras semipesadas.

A suplementação dos microminerais complexados a aminoácidos promoveu melhorias nos parâmetros produtivos do nosso estudo, fato que pode ser atribuído a uma possível melhoria da capacidade digestiva e absorptiva intestinal, ocasionando desta forma um melhor aproveitamento dos nutrientes pelos animais, o que pode diminuir a inclusão dos mesmos nas formulações, promovendo melhor rentabilidade ao produtor e menor excreção ao meio ambiente. Rutz et al. (2007) relatam que os minerais complexados a aminoácidos são absorvidos pelos carreadores intestinais de aminoácidos e peptídeos e não por transportadores intestinais de minerais, evitando, assim, a competição entre minerais pelos mesmos mecanismos de absorção.

Em nosso estudo houve melhora na conversão alimentar por massa e por dúzia de ovos quando as aves receberam o tratamento com 60% de MCAA, confirmando a nossa hipótese de que níveis reduzidos de MCAA são mais eficazes que as recomendações de minerais provenientes de fontes convencionais. Essa resposta pode ser atribuída a um nível ótimo do mineral, que atendeu de forma adequada às exigências das aves, com isso uma possível melhoria da capacidade digestiva e absorptiva intestinal. Já está comprovado em trabalhos realizados (MACIEL et al., 2010; GHEISARI et al., 2011; FIGUEIREDO JÚNIOR et al., 2013; YENICE et al., 2015; ZHANG et al., 2017) melhorias nos índices produtivos e qualidade dos ovos e com uma maior capacidade da absorção com o uso de microminerais complexados a aminoácidos.

Surai (2006) suplementou selênio na forma de selenometionina em substituição ao selenito de sódio, que aumenta a concentração desse mineral em todas as partes do ovo (casca, membranas da casca, e membrana perivitelina, clara e gema). Para o autor, a substituição de selenito de sódio por selenometionina para poedeiras resulta em melhora na conversão alimentar, na qualidade da casca, no tempo e prateleira dos ovos.

Em relação aos parâmetros de qualidade, verificamos melhora na espessura da casca quando as aves receberam os tratamentos com MCAA em substituição ao inorgânico, tendo o tratamento MCAA com redução de 60% na suplementação apresentado o melhor resultado, o que pode estar relacionado com o aspecto estrutural da casca dos ovos. Os oligoelementos são essenciais na dieta das galinhas poedeiras

porque participam dos processos bioquímicos necessários para o crescimento e desenvolvimento normais, incluindo a formação de ossos e cascas dos ovos (RICHARDS et al., 2010).

O Zn atua como cofator da enzima anidrase carbônica, que catalisa a reação H_2O+CO_2 , que formará ácido carbônico (H_2CO_3) e este se dissociará em íons bicarbonato (HCO_3^-) e H^+ (BAR, 2009), conferindo resistência a casca dos ovos. O Mn atua como ativador das enzimas envolvidas na síntese de glicosaminoglicanos e glicoproteínas, que contribuem para a formação da matriz orgânica da casca. O Cu é uma parte integrante da enzima lisil-oxidase, que é importante na formação de colágeno presente na membrana da casca do ovo (LEESON; SUMMERS, 2001).

Mobaraki e Shahryar (2015) avaliaram a suplementação de vitamina E e Selênio sobre o desempenho, qualidade de ovo e incubabilidade de ovos de codornas japonesas durante o período de 60 dias. De acordo com os autores, o uso de vitamina E e selênio (160 mg / kg de vitamina E + 0,4 mg / kg de selênio orgânico) teve o maior impacto em características do desempenho e qualidade do ovo.

Conforme foi demonstrado por Zhang et al. (2017), que trabalhando com um complexo de aminoácido-Mn (uma fonte orgânica de Mn) para poedeiras Hy-Line Brown de 62 semanas de idade, concluíram que a suplementação com Mn dietético aumentou significativamente a resistência à quebra e a espessura das cascas dos ovos das poedeiras em comparação ao sulfato de Mn. Do mesmo modo, Stefanello et al. (2014) relatam que a suplementação com de Zn, Mn e Cu na forma de proteínatos melhorou as características estruturais e a qualidade da casca dos ovos em comparação à fonte inorgânica.

Com relação aos resultados deste trabalho fica evidente a necessidade de realizar pesquisas para determinar as exigências reais dos microminerais que normalmente são suplementados e que foram estudados nesta pesquisa (Zn, Cu, Mn, Se e Fe), considerando que a quantidade suplementada na forma inorgânica, como carbonatos, sulfatos, óxidos e cloretos são elevadas, e isto pode provocar problemas em relação a interação entre eles, contribuindo para reduzir as suas absorções e, conseqüentemente, aumentando a excreção desses microminerais pelas aves.

CONCLUSÃO

A substituição total dos microminerais inorgânicos Zn, Mn, Cu, Fe e Se por fontes de minerais complexados a aminoácidos proporcionou melhora no desempenho e na qualidade dos ovos até o nível de 60% de redução.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABE, E., H. HORIKAWA, T. MASUMURA, M. SUGAHARA, M. KUBOTA, T. SUDA. Disorder of cholecalciferol metabolism in old egg-laying hens. **Journal of Nutrition**. 112:436-446,1982.

BAR, A. Calcium transport in strongly calcifying laying birds: mechanisms and regulation. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v.152, p.447-469, 2009.

CARD, L. E.; NESHEIM, M. C. Poultry production. Philadelphia: Lea & Febiger, 1966, 399p.

COUTTS, J. A., WILSON, G. C.; FERNANDEZ, S. **Optimum Egg Quality**. 5M Publishing, Sheffield, UK, 2007.

FAVERO, A. et al. Reproductive performance of Cobb 500 breeder hens fed diets supplemented with zinc, manganese, and copper from inorganic and amino acid-complexed sources. **J. Appl. Poult. Res.** 22 :80–91, 2013.

FIGUEIREDO JÚNIOR, J. P. et al. Substituição de minerais inorgânicos por orgânicos na alimentação de poedeiras semipesadas. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.65, n.2, p.513-518, 2013.

GHEISARI, A. A. et al. Effect of diets supplemented with different levels of manganese, zinc, and copper from their organic or inorganic sources on egg production and quality characteristics in laying hens. **Biol. Tra. Elem. Res.** 142: 557-571, 2011.

KETTA, M.; TŮMOVÁ, E. Eggshell structure, measurements, and quality-affecting factors in laying hens: a review. **Czech J. Anim. Sci.**, 61, (7): 299–309, 2016.

LEESON, S.; SUMMERS, J.D. **Nutrition of the chicken**. 4 ed. Guelph, Ontario: University Books, 2001, 591p.

MACIEL, M.P. et al. Effect of using organic microminerals on performance and external quality of eggs of commercial laying hens at the end of laying. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n.2, p.344-348, 2010.

MOBARAKI, M. A.; SHAHRYAR, H. A. The impact of different levels of vitamin E and selenium on the performance, quality and the hatchability of eggs from breeding Japanese quails. **Iranian Journal of Applied Animal Science**, 5, 927–932, 2015.

NEUMAN, S. L.; R. H. HARMS; G. B. RUSSELL. An innovative change in energy restriction for broiler breeder hens. **J. Appl. Poult. Res.** 7:328–335, 1998.

NUNES, J.K. et al. Qualidade de ovos e resistência óssea de poedeiras alimentadas com minerais orgânicos. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.65, n.2, p.610-618, 2013.

RICHARDS, J.D. et al. Trace mineral nutrition in poultry and swine. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v.23, n.11, p.1527-1534, 2010.

RUTZ, F.; PAN, E.A.; XAVIER, G.B. Efeito de minerais orgânicos sobre o metabolismo e desempenho de aves. **Revista AveWorld**, 2007.

SAKOMURA, N.K.; ROSTAGNO, H.S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. Jaboticabal: UNESP, 2007.

SAS. SAS/STAT 3.1 User's Guide. Version 3.1 Cary, NC: SAS, Institute Inc, 2009.

SCOTT, M.L.; NESHEIN, M.C.; YOUNG, R.J. **Nutrition of the chicken**. 3 ed. New York: M.L. Scott, 1982, 562p.

STEFANELLO, C. et al. Productive performance, eggshell quality, and eggshell ultrastructure of laying hens fed diets supplemented with organic trace minerals. **Poultry Science** 93 :104–113, 2014.

SURAI, P. F. **Selenium in Nutrition and Health**. 1ed. Nottingham University Press. Nottingham, 2006.

YENICE, E. et al. 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**, 167(2), 300-307, 2015.

YILMAZ DIKMEN, B.; SÖZCÜ, A.; IPEK, A. Effects of Supplementary Mineral Amino Acid Chelate (ZnAA - MnAA) on the Laying Performance, Egg Quality and

Some Blood Parameters of Late Laying Period Layer Hens. **Kafkas Univ Vet Fak Derg** 21 (2): 155-162, 2015.

ZAMANI, A.; RAMAHNI, H.R.; POURREZA, J. Supplementation of a corn-soybean meal diet with manganese and zinc improve eggshell quality in laying hens. **Pak. J. Biol. Sci.**, v.8, p.1311-1317, 2005.

ZHANG, Y. N. et al. Dietary manganese supplementation modulated mechanical and ultrastructural changes during eggshell formation in laying hens. **Poultry Science** 0:1–9, 2007.

CAPÍTULO III

**DESEMPENHO E QUALIDADE DE OVOS DE POEDEIRAS LEVES
SUPLEMENTADAS COM DIFERENTES FONTES DE ZINCO, MANGANÊS E
COBRE**

RESUMO

A nutrição micromineral de poedeiras é um dos fatores mais importantes a serem considerados na avaliação do papel da nutrição e na melhoria do desempenho e na qualidade dos ovos. Este estudo foi conduzido para avaliar os efeitos do zinco (Zn), manganês (Mn) e cobre (Cu) de diferentes fontes, minerais inorgânicos (MI), minerais complexados a aminoácidos (MCAA), e minerais glicinatos (MG) em dietas para poedeiras, no desempenho e na qualidade interna / externa dos ovos. Quinhentas poedeiras da linhagem Lohmann White com 78 a 97 semanas de idade foram distribuídas em um delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos, dez repetições com dez aves por repetição, onde foram testados diferentes fontes de microminerais complexados a aminoácidos. Os tratamentos foram um arranjo fatorial 2 x 2 + 1 controle inorgânico: os fatores foram duas fontes de Zn, Mn e Cu (MCAA e MG) em dois níveis; baixo (20, 20 e 3,5 ppm de Zn, Mn e Cu, respectivamente), e alta (40, 40 e 7 ppm de Zn, Mn e Cu, respectivamente). A dieta-controle inorgânica (Sulfatos) continha Zn, Mn e Cu nos níveis elevados (40, 40 e 7 ppm, respectivamente). Ferro, Se e I foram suplementados com fontes inorgânicas nos mesmos níveis em todas as dietas. Os dados foram submetidos à análise de variância, com médias comparadas por contrastes ortogonais (fonte mineral, nível, fonte x nível e fonte) quando $P < 0,05$. As galinhas poedeiras alimentadas com MCAA apresentaram melhor produção de ovos (%), massa de ovos (g/ave/dia), conversão alimentar (g: massa g: dz de ovos), altura do albúmen (mm), unidades Haugh e espessura da casca do ovo em comparação com poedeiras alimentadas com dietas contendo sulfatos e MG, sendo que o sulfato apresentou melhor resultado para altura de albúmen e unidades Haugh quando comparado ao tratamento com MG. Esses dados mostram diferenças claras entre as fontes de microminerais, tendo a fonte MCAA com resultado superior as fontes de MG e sulfatos, e este último melhor que o glicinato para galinhas poedeiras.

Palavras-chave: Espessura da casca do ovo. Fonte mineral. Glycinate. Minerais complexados. Qualidade da casca do ovo. Unidade de Haugh.

ABSTRACT

Micromineral nutrition of laying hens is one of the most important factors to be considered when evaluating the role of nutrition in improving performance and egg quality. This study was conducted to evaluate the effects of supplemental zinc (Zn), manganese (Mn), and copper (Cu) from different sources [inorganic mineral (IM), amino acid complexed minerals (AACM), and glycinate minerals (GM)] in laying hen diets, on performance and internal/external egg quality. Five hundred 78- to 97-week-old Lohmann White laying hens were distributed in a completely randomized design with five treatments, ten replications per treatment, and ten birds per replicate. Treatments were a 2 x 2 factorial arrangement plus an inorganic control: The factors were two sources of Zn, Mn, and Cu (AACM or GM) at two levels (low; 20, 20, and 3.5 ppm of Zn, Mn, and Cu, respectively; and high, 40, 40, and 7 ppm of Zn, Mn, and Cu, respectively). The inorganic control diet contained Zn, Mn, and Cu at the high levels (40, 40 and 7ppm, respectively). Iron, Se, and I were supplemented from inorganic sources at the same levels in all treatment diets. Data were submitted to analysis of variance, with means compared by orthogonal contrasts (trace mineral source, level, and source x level) when $P < 0.05$. Laying hens fed AACM had better ($P < 0.05$) egg output (%), egg mass (g/bird/d), FCR (g:dz; g:egg mass), egg shell thickness (mm), albumen height (mm), and Haugh units compared to hens fed diets containing GM. These data show clear differences in micromineral sources, with amino acid complexes resulting in superior performance compared to glycinate sources for laying hens.

Key words: Complexed minerals. Eggshell thickness. Eggshell quality. Glycinate. Haugh unit. Mineral source.

INTRODUÇÃO

A grande maioria das pesquisas na área de nutrição de galinhas poedeiras abordam a relação energia: proteína, aminoácidos sulfurados, lisina, a relação cálcio: fósforo, balanço eletrolítico e em menores proporções os minerais (BERTECHINI, 2012). Para se atingir uma boa nutrição, é importante que a ave receba quantidades adequadas dos minerais, pois estes participam de todos os processos bioquímicos corporais (SECHINATO et al., 2006).

No entanto, muitos são os fatores que podem interferir na utilização dos minerais suplementados nas dietas, tais como: inerentes ao alimento (composição físico-química), afetada pelo clima, tipo de solo, manejo das culturas; inerentes ao animal, idade, pH do trato digestivo, excesso ou ausência de determinados minerais, conteúdo de nutrientes orgânicos, sanidade (CAO et al., 2000). Sendo assim, o simples fornecimento dos minerais também não garantem sua absorção e utilização pelo animal, à medida de suas necessidades; é preciso que os minerais tenham uma boa disponibilidade biológica.

Na nutrição animal, os microminerais são normalmente inclusos nas dietas na forma de sais inorgânicos e acima das recomendações nutricionais das tabelas de formulação de ração, havendo o risco de interações entre os minerais, bem como destes com outros nutrientes, o que diminui a disponibilidade e aumenta sua eliminação para o meio ambiente. Recentemente, tem sido recomendado o uso de minerais organicamente complexados em doses mais baixas na dieta dos animais em relação ao sal mineral inorgânico na forma de óxidos, sulfatos, cloretos, carbonatos e fostatos (CAO et al., 2000).

Os microminerais na forma orgânica são classificados como complexo metal-aminoácido-específico, quelatos, proteínatos e complexo metal-polissacarídeo (AAFCO, 2001). Porém, esses minerais podem variar a sua disponibilidade do trato digestivo do animal, de acordo com a fonte utilizada, e com o ligante que pode possuir uma ou mais ligações para cada átomo central da molécula, alterando ou não a absorção do metal no trato digestivo.

No complexo aminoácido metal, o ligante liga-se ao átomo metálico por apenas um único ponto, ou seja, uma única ligação para cada ligante-átomo central (numa

relação molar de 1:1). O quelato aminoácido metal (específico) possui uma relação molar maior, que pode ser de 1:2 ou mais relações. Porém, pode ser que este apresente uma forma menos eficiente, devido a um único transportador de aminoácido no trato digestivo, o que difere do complexo aminoácido que usa uma solução de aminoácidos que disponibilizam vários transportadores fazendo com que o metal atravesse a membrana nos enterócitos em maior quantidade.

Portanto, este estudo foi conduzido para avaliar o efeito do zinco, manganês e cobre de diferentes fontes em dietas para poedeiras leves, avaliando o desempenho e a qualidade interna e externa dos ovos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Todas as práticas de manejo, bem como abate e procedimentos de amostragem da presente pesquisa, foram aprovadas pela comissão de Ética no Uso de Animais – CEUA da Universidade Federal Rural de Pernambuco (CEUA, N^o: 15/2017).

Local

O experimento foi realizado nas instalações de Pesquisa da Estação Experimental de Pequenos Animais de Carpina (EEPAC), localizada no município de Carpina, Zona da Mata Norte, Pernambuco, Brasil.

Aves e instalações

Foram utilizados um total de 500 poedeiras leves da linhagem Lohmann White, com idade entre 78 a 98 semanas, alojadas em gaiolas com dimensões de 100 x 40 x 45 cm (10 aves/gaiola) instaladas em galpão convencional de alvenaria coberto com telhas de barro. A ração e a água foram oferecidas à vontade durante toda a fase experimental. O fotoperíodo foi de 16 horas (natural + artificial). A temperatura e umidade relativa do ar no interior do galpão foram registradas diariamente por meio de termohigrômetros digitais (Incoterm) e Datalogger .

Delineamento e dietas experimentais

A fase de produção teve duração de 140 dias, divididos em cinco períodos de 28 dias cada. As aves foram distribuídas de acordo com delineamento experimental inteiramente casualizado com cinco tratamentos e dez repetições de dez aves por parcela experimental.

Os tratamentos foram um arranjo fatorial 2 x 2 + 1 (controle inorgânico), os fatores foram duas fontes de Zn, Mn e Cu com MCAA e MG em dois níveis baixo (20, 20 e 3,5 ppm de Zn, Mn e Cu respectivamente), e alta (40, 40 e 7 ppm de Zn, Mn e Cu, respectivamente). A dieta- controle inorgânica (Sulfatos) continha Zn, Mn e Cu nos níveis elevados (40, 40 e 7 ppm, respectivamente). Ferro, Se e I foram suplementados com fontes inorgânicas nos mesmos níveis em todas as dietas. A composição dos premixes minerais encontra-se descrita na Tabela 1, e as dietas na Tabela 2.

Tabela 1. Descrição detalhada dos tratamentos

Fontes	Nível	Mineral Suplementado, mg/kg		
		Zn	Mn	Cu
Oxidos ¹	–	40	40	7
ZMC- Glicinatos ²	Baixo	20	20	3.5
ZMC- Glicinatos ²	Alto	40	40	7
ZMCAA ³	Baixo	20	20	3.5
ZMCAA ³	Alto	40	40	7

¹ Suplementação por kilograma do produto: Óxido de Zinco 40mg/kg; Óxido de Manganês 40mg/kg; Sulfato de Cobre 7mg/kg.

² Suplementação por kilograma do produto: Os glicinatos forneceram 20 ou 40 ppm de Zn; 20 o 40 ppm de Mn; 3,5 ou 7 ppm Cu.

³ Suplementação por kilograma do produto: ZMCAA Complexo de aminoácidos de zinco Availa® Zn (20 ou 40 ppm Zn), complexo de aminoácidos de manganês Availa®Mn (20 ou 40 ppm Mn) e cobre de aminoácidos do complexo Availa®Cu (3,5 ou 7 ppm Cu).

* Sulfato de Ferro 20mg/kg; Selenito de sódio 0.2 mg/kg e Iodato de cálcio 1ppm foram oferecidos na forma inorgânica para todos os tratamentos.

Tabela 2. Composição das dietas experimentais

Ingredientes	%
Milho	59,74
Farelo Soja	25,00
Óleo Soja	1,70
Calcário calcítico	10,86
Fostato bicálcico	0,92
Bicarbonato de sódio	0,15
Sal comum	0,29
DL-Metionina 99 %	0,29
L-Treonina 98.5%	0,05
Phytase AB Vista ¹	0,006
Premix Vitamínico ²	0,10
Premix Mineral	0,50
Inert (areia)	0,64
Adsorbent ³	0,10
Total	100,00
Níveis Nutricionais	
Energia Metabolizável (kcal/kg)	2,750
Proteína Bruta, %	16,09
Cálcio, %	4,500
Fósforo disponível, %	0,410
Lisina digestível, %	0,760
Metionina digestível, %	0,526
Met. + Cist. digestível, %	0,744
Treonina digestível,%	0,585
Sódio, %	0,180
Extrato etéreo, %	4,253
Fibra bruta, %	2,523
Colina	1063,5
Na+K+Cl (Meq)	180,08

¹ Suplementação por quilograma do produto: Phytase (mín) 10.000 FTU/g. 4 923.

² Suplementação por quilograma do produto: Vitamin A (mín): 8.000.000 IU/kg, Vitamin D3 (mín): 2.500.000 IU/kg, Vitamin E (mín): 6.000 IU/kg, Vitamin K3 (mín): 1.000 mg/kg, Vitamin B1 (mín): 1.000 mg/kg, Vitamin B2 (mín): 4.500 mg/kg, Vitamin B6 (mín):2.000 mg/kg, Vitamin B12 (mín) 12.000 mcg/kg, Niacin (mín): 15 g/kg, Calcium pantothenate (mín): 6.000 mg/kg, folic acid (mín): 400 mg/kg, Biotin (mín): 25 mg/kg.

Suplementação por quilograma do produto: Hydrated sodium and calcium aluminosilicates: 0.10 mg/kg.

Desempenho

Foram avaliados a produção média de ovos por ave (%), o consumo de ração (g/ave/dia), o peso dos ovos (g), a massa de ovos (g/ave/dia) e a conversão alimentar (g/massa e g/dúzia). As coletas dos ovos foram realizadas diariamente no período da tarde. Para efeito de correção da conversão alimentar, as aves mortas foram pesadas, assim como as sobras de ração, conforme metodologia descrita por Sakomura e Rostagno (2007).

Qualidade dos ovos

Nos três últimos dias de cada período foram coletados três ovos por unidade experimental, totalizando 30 ovos por tratamento, para avaliação das variáveis de qualidade de ovos: peso do ovo (g), peso do albúmen (g), peso da gema (g), altura de albúmen (mm), cor da gema, peso da casca (g), espessura da casca (mm) e porcentagens de gema, albúmen, casca e Unidade Haugh. Para determinação da altura do albúmen, os ovos foram quebrados e o seu conteúdo (clara + gema) colocados em uma superfície plana e nivelada. Em seguida, era mensurada a altura do albúmen (mm) com auxílio de paquímetro digital. Para o cálculo da Unidade Haugh foram utilizados os valores do peso do ovo (w, g) e altura do albúmen (h, mm), utilizando a equação descrita por Card e Nesheim (1966): $UH = 100 \log (h + 7,57 - 1,7w^{0,37})$, onde: UH= unidade Haugh, h= altura de albúmen e w= peso do ovo.

Posteriormente, as gemas foram separadas do albúmen e pesadas em balança de precisão. As cascas dos ovos foram secas ao ar por um período de 48 horas, para serem pesadas e realizada as medições de sua espessura utilizando um paquímetro digital. O cálculo da porcentagem de gema e da casca foi realizado de acordo com o peso da gema e casca em relação ao peso do ovo. A porcentagem de albúmen foi determinada em relação ao peso do ovo através da diferença pela equação $100 - (\% \text{ de gema} + \% \text{ de casca})$. Para a colorimetria da gema foi utilizado o leque colorimétrico numa escala de valores de 1 a 15 (DSM®).

Análises Estatísticas

Foram testadas as pressuposições dos erros da normalidade e homocedasticidade. Em seguida, os dados foram analisados pelo Proc GLM do programa de Analysis System versão 3.1 (SAS, 2009), com médias comparadas por contrastes ortogonais (fonte mineral, nível e fonte x nível) quando ($P < 0,05$).

RESULTADOS

Os dados de desempenho no período total (78 a 98 semanas de idade) das aves alimentadas com diferentes fontes de MCAA durante a fase de produção estão apresentados na Tabela 3. A suplementação com MCAA aumentou a produção de ovos e massa de ovo quando comparado às dietas com o uso MG e MI, o mesmo ocorrendo em relação à conversão alimentar por massa e por dúzia de ovos.

Tabela 3. Desempenho de poedeiras com 78 a 98 semanas de idade alimentadas com diferentes fontes de Zinco, Cobre e Manganês

Treatments	CR (g/ave/dia)	PR (%)	PO (g)	MO (g/ave/dia)	CMO (g/MO)	CDZ, (g/dz)
T1 (Sulfatos)	105,90	78,12	68,28	53,34	1,973	1,617
T2 (ZMC-Gly)	107,48	76,91	68,40	52,58	2,072	1,700
T3 (ZMC-Gly)	105,34	74,96	68,71	51,50	2,073	1,710
T4 (ZMC-CMAA)	107,64	79,50	69,19	54,98	1,999	1,656
T5 (ZMC-CMAA)	106,35	81,28	68,61	55,71	1,918	1,577
Average	106,57	78,15	68,65	53,63	1,997	1,644
CV (%)	2,39	6,66	2,51	6,60	6,17	6,46
SEM	0,372	0,770	0,204	0,542	0,018	0,015
P-value	0,241	0,089	0,809	0,068	0,089	0,117
Contrasts						
F* 2 e 3 vs 4 e 5	0,523	0,009	0,539	0,017	0,015	0,024
N* 2 e 4 vs 3 e 5	0,046	0,961	0,813	0,927	0,253	0,364
F x N* 2 e 5 vs 3 e 4	0,658	0,263	0,439	0,250	0,358	0,249
F* 1 vs 2 e 3	0,643	0,284	0,730	0,151	0,069	0,100

CV = Coefficient of variation.; CEM – conversion of egg mass; CDZ conversion of dozen eggs

* F= fonte, N= nível

A cor da gema, peso do albúmen, peso de gema, peso da casca, os percentuais de gema, albúmen e casca não foram influenciados pelos tratamentos experimentais (Tabela 4 e 5). Porém, observou-se diferença significativa para altura de albúmen, espessura da casca e unidade Haugh, tendo o maior valor os ovos das aves alimentadas com dietas MCAA quando comparadas às dietas com MG e MI. A dieta MI apresentou

melhor resultado para altura de albúmen e unidade Haugh quando contrastado com o MG (Tabelas 4).

Tabela 4. Peso dos constituintes dos ovos de poedeiras com 78 a 98 semanas de idade alimentadas com diferentes fontes de Zinco, Cobre e Manganês.

Tratamentos	Cor da Gema, escore	Altura Albúmen (mm)	Peso do Albúmen (g)	Peso da Casca (g)	Peso da Gema (g)
T1 (Sulfatos)	5,20	8,31	44,40	6,19	18,19
T2 (ZMC-Gly)	5,18	7,41	44,14	6,17	18,08
T3 (ZMC-Gly)	5,26	7,85	44,21	6,19	18,30
T4 (ZMC-CMAA)	5,20	8,25	44,58	6,31	18,29
T5 (ZMC-CMAA)	5,22	8,24	44,33	6,23	18,22
Average	5,21	8,01	44,25	6,22	18,22
CV (%)	2,62	3,11	3,49	2,79	3,09
SEM	0,018	0,059	0,163	0,024	0,077
P-value	0,748	0,001	0,933	0,362	0,910
Contrastes					
F* 2 e 3 vs 4 e 5	0,917	0,001	0,169	0,092	0,721
N* 2 e 4 vs 3 e 5	0,249	0,007	0,588	0,544	0,672
F x N* 2 e 5 vs 3 e 4	0,484	0,006	0,711	0,381	0,432
F* 1 vs 2 e 3	0,785	0,001	0,662	0,865	0,992
Tratamentos	Ovoscoopia Score	Espessura Casca (mm)	Albúmen %	Casca %	Gema %
T1 (Sulfatos)	2,33	0,414	64,37	8,97	26,64
T2 (ZMC-Gly)	2,42	0,413	64,52	9,03	26,45
T3 (ZMC-Gly)	2,37	0,412	64,34	9,00	26,64
T4 (ZMC-CMAA)	2,33	0,461	64,38	9,14	26,47
T5 (ZMC-CMAA)	2,27	0,472	64,64	9,00	26,62
Average	2,34	0,434	64,44	9,03	26,56
CV (%)	6,75	3,00	1,30	2,38	3,21
SEM	0,022	0,004	0,100	0,029	0,109
P-value	0,322	0,001	0,940	0,521	0,971
Contrastes					

F* 2 e 3 vs 4 e 5	0,067	0,001	0,771	0,449	0,644
N* 2 e 4 vs 3 e 5	0,287	0,371	0,884	0,281	0,901
F x N* 2 e 5 vs 3 e 4	0,796	0,182	0,442	0,438	0,590
F* 1 vs 2 e 3	0,314	0,854	0,764	0,844	0,814

DISCUSSÃO

A suplementação dos microminerais na forma de metal aminoácido na dieta das poedeiras é uma estratégia de manejo eficiente na melhoria da performance e qualidade dos ovos, como mostra o resultado do nosso estudo.

Existem diferentes fontes de minerais complexados no mercado, como por exemplo: proteinatos, quelatos metionina hidrox-análoga (MHA), quelato-propionato, glicinatos, leveduras, picolinato de cromo e os complexos-mineral-aminoácido. Essas diferentes fontes parecem apresentar diferentes respostas no metabolismo animal, em função da estrutura molecular e da relação molar entre o mineral e o ligante, o que pode definir a sua biodisponibilidade e a absorção no trato gastrointestinal. Graff et al. (1970) relatam que à medida que o ligante de aminoácido aumenta de um monômero para dímero ou maior, a absorção do metal ligado diminui.

Stefanello et al. (2014), trabalhando com uma fonte orgânica de Zn, Mn e Cu na forma de proteinatos para poedeiras entre 47 e 62 semanas de idade, observaram aumento no peso e massa de ovos quando as aves foram alimentadas com a fonte orgânica em comparação à fonte convencional.

Em nosso estudo houve melhora na produção de ovos, massa de ovos e, conseqüentemente, melhor conversão por massa e por dúzia de ovos, quando as aves foram alimentadas com o MCAA e quando comparado às demais fontes, em especial ao MG, fato que pode estar relacionado com a manutenção da integridade do epitélio intestinal devido à biodisponibilidade do mineral no trato digestivo. Os minerais inorgânicos, que são ionizados no estômago, entram nas células por difusão passiva ou transporte ativo; porém, podem ocorrer perdas em reações com compostos insolúveis ou em processos de competição dos diferentes minerais para se ligarem aos transportadores (RUTZ et al., 2009).

No caso de um mineral complexado a uma molécula orgânica, muitas pesquisas

citam que o íon metálico é pré-ligado a um ligante, portanto, não é teoricamente afetado pelo processo de digestão e deve se mover diretamente para o revestimento intestinal para absorção. Se o complexo mineral se rompe no estômago devido a algum problema no processo de formação da molécula ou ao tamanho da estrutura molecular, os íons se tornam livres e, neste caso, possivelmente não há nenhuma diferença entre os quelatos e as fontes de minerais inorgânicos (ASHEMEAD, 1993).

De acordo com o resultado da presente pesquisa, é possível que o tamanho da molécula e a quantidade de transportadores no intestino delgado tenham influenciado nos resultados, visto que o MCAA foi melhor que a fonte MG. O MCAA é formado por vários aminoácidos e apresenta uma relação molar de 1:1, portanto, mais estável, e quando chega ao intestino delgado encontra uma quantidade maior de transportadores transmembrana, o que difere do complexo aminoácido específico, que possui uma relação molar maior, podendo sofrer quebra da molécula no trato gastrointestinal, e durante a absorção no intestino delgado, por utilizar apenas transportadores específicos para aquele aminoácido.

A suplementação do MCAA possibilita, desta forma, um melhor aproveitamento dos nutrientes, em especial o zinco, que tem papel importante na morfologia intestinal, atuando no crescimento das vilosidades, relação vilosidade: cripta e área de superfície de absorção (LEVKUT et al., 2017). Além disso, atua na morfologia intestinal, promovendo aumento da proliferação celular com consequente redução da apoptose, resultando em melhora da função absorptiva no trato gastrointestinal e, consequentemente, melhora do desempenho animal (SHAO et al., 2014).

Com relação aos parâmetros de qualidade, diversos fatores podem influenciar a composição e a resistência à quebra da casca, bem como o conteúdo interno dos ovos, comprometendo a sua qualidade, como genética, idade da ave, armazenamento, sanidade do lote e a nutrição. Na nossa pesquisa houve aumento na altura de albúmen, unidade Haugh e espessura da casca para as aves alimentadas com a dieta MACC, apresentado melhores resultados quando comparado às demais fontes.

De acordo com Scott e Silversides (2000), quanto mais velha a poedeira menor a percentagem e altura de albúmen, que, de acordo com essa afirmação, indica baixa qualidade dos ovos devido à pouca consistência do albúmen. Um dos principais parâmetros que indica a qualidade interna dos ovos é a unidade Haugh, que leva em

consideração a altura de albúmen; de modo geral, quanto maior o valor da unidade Haugh, melhor a qualidade interna do ovo (RODRIGUES, 1975). As dietas com o MCAA parecem aumentar o aproveitamento dos nutrientes pelos animais, especialmente o cobre, é parte integrante da enzima lisiloxidase, é importante na formação de ligações cruzadas de colágeno presentes na membrana da casca, que também confere estabilidade a parte interna do ovo (SCOTT et al., 1982).

Ainda em relação à altura de albúmen e à unidade Haugh, o tratamento MI foi melhor que o tratamento MG, o que pode estar relacionado com a estrutura molecular do MCAA ou antagonismo entre os minerais no trato digestivo.

O aumento na espessura da casca possivelmente está relacionado com as características estruturais da casca, pois, como mostrado por Stefanello et al. (2014), a suplementação com Zn, Mn e Cu melhora a espessura da casca com efeito na ultraestrutura da casca, mais especificamente o manganês, que age na estrutura da casca, promovendo um aumento na espessura da camada da paliçada e reduzindo o tamanho dos botões mamilares (ZHANG et al., 2017).

Além disso, os microminerais estão relacionados diretamente na ativação de enzimas que estão envolvidas na formação da casca do ovo, como a anidrase carbônica, que é essencial para a formação da estrutura da casca a partir de íons carbonato (BERTECHINI, 2014).

O manganês está envolvido na ativação da glicosiltransferase, que atua na formação de mucopolissacarídeos que controlam a estrutura e textura da casca do ovo (VENGOVSKA et al., 2014). Desse modo, o aumento na espessura da casca do ovo está diretamente relacionado à resistência à quebra; nesse sentido, sugere-se que as aves suplementadas com o MCAA produzam ovos mais resistentes, com consequente diminuição das perdas causadas pela baixa qualidade da casca observada na indústria avícola.

CONCLUSÃO

A suplementação com os minerais complexados a aminoácidos para galinhas poedeiras na fase de produção foi mais eficiente que as fontes de minerais inorgânicos e o complexo mineral glicinato, proporcionando melhora no desempenho e qualidade dos ovos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHMEAD, H. D. Comparative intestinal absorption and subsequent metabolism of metal amino acid chelates and inorganic metal salts. **The roles of amino acid chelates in animal nutrition**, 32-57, 1993.

ASSOCIATION OF AMERICAN FEED CONTROL OFFICIALS - AAFCO. **Official Publication**. Atlanta; 2001. 266p.

BERTECHINI, A.G, Exigências de minerais para aves. In: SAKOMURA, N.K. et al. **Nutrição de Não-ruminantes**. Jaboticabal: FUNEP, p. 375-388, 2014.

_____. **Nutrição de monogástricos**, v.2, p. 209-212,239-254, 2012.

CAO, J. et al. Chemical characteristics and relative bioavailability of supplemental organic zinc sources for poultry and ruminant. **Journal of Animal Science**, v.78, n.8, p.2039-2054, 2000.

CARD, L. E.; NESHEIM, M. C. **Poultry production**. Philadelphia: Lea & Febiger, 1966, p. 399.

GRAFF, D.; ASHMEAD, H. D.; Hartley, C. Absorption of minerals compared with chelates made from various protein sources into rat jejunal slices, in vitro. **Proc Utah Academy Arts**, 53-57, 1970.

LEVKUT, M. et al. The effect of inorganic or organic zinc on the morphology of the intestine in broiler chickens. **Folia Veterinaria**, 61, 3: 52-56, 2017.

RODRIGUES, P. C. **Contribuição ao estudo da conversão de ovos de casca branca e vermelha**. Piracicaba, Dissertação (Mestrado)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1975. 57p.

RUTZ, F.; MURPHY, R. Minerais orgânicos para aves e suínos. In: **Congresso internacional sobre uso da levedura na alimentação animal**, Vol. 1, pp. 21-36, 2009.

SAKOMURA, N.K.; ROSTAGNO H.S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. Jaboticabal: UNESP, 2007.

SAS. SAS/STAT 3.1 User's Guide. Version 3.1 Cary, NC: SAS, Institute Inc., 2009.

SCOTT, M.L.; NESHEIN, M.C.; YOUNG, R.J. Nutrition of the chicken. 3 ed. New York: M.L. Scott, 1982, 562p.

SCOTT, T.A.; SILVERSIDES, F.G. The Effect of Storage and Strain of Hen on Egg Quality. **Poultry Science**, v.79, n.12, p.1725–1729, 2000.

SECHINATO, A.S.; ALBUQUERQUE, R.; NAKADA, S. Efeito da suplementação dietética com micro minerais orgânicos na produção de galinhas poedeiras. **Braz. J. Vet. Res. Anim. Sci.**, v.43, p.159-166, 2006.

SHAO, Y. et al. Effect of Zinc on Growth Performance, Gut Morphometry, and Cecal Microbial Community in Broilers Challenged with *Salmonella enterica* serovar Typhimurium. **Journal of Microbiology**. Vol. 52, No. 12, pp. 1002–1011, 2014.

STEFANELLO, C. et al. Productive performance, eggshell quality, and eggshell ultrastructure of laying hens fed diets supplemented with organic trace minerals. **Poultry Science** 93 :104–113, 2014.

VENGLOVSKA, K. et al. Effects of feed supplementation with manganese from its different sources on performance and egg parameters of laying hens. **Czech J. Anim. Sci.**, 59 (4): 147–155, 2014.

ZHANG, Y. N. et al. Dietary manganese supplementation modulated mechanical and ultrastructural changes during eggshell formation in laying hens. **Poultry Science** 0:1–9, 2017.