ISSN: 1696-8352

Zinco, cobre e manganês na nutrição de poedeiras comerciais: uma revisão

Zinc, copper, and manganese in the nutrition of commercial laying hens: a review

Zinc, cobre y manganeso en la nutrición de gallinas ponedoras comerciales: una revisión

DOI: 10.55905/oelv23n2-110

Receipt of originals: 1/3/2025
Acceptance for publication: 1/27/2025

Joelma Vasconcelos Celestino da Silva
Doutora em Zootecnia
Intituição: Universidade Federal da Paraíba
Endereço: Areia, Paraíba, Brasil
E-mail: joelma.v.c@hotmail.com

Fernando Guilherme Perazzo Costa
Doutor em Zootecnia
Intituição: Universidade Federal da Paraíba
Endereço: Areia, Paraíba, Brasil
E-mail: perazzo63@gmail.com

Adiel Vieira de Lima
Mestre em Zootecnia
Intituição: Universidade Federal da Paraíba
Endereço: Areia, Paraíba, Brasil
E-mail: adiel1205@hotmail.com

Carlos Henrique do Nascimento
Mestre em Zootecnia
Intituição: Universidade Federal da Paraíba
Endereço: Areia, Paraíba, Brasil
E-mail: carlosnascimento889@gmail.com

Paloma Eduarda Lopes de Souza
Mestre em Zootecnia
Intituição: Universidade Federal da Paraíba
Endereço: Areia, Paraíba, Brasil
E-mail: palomaeduardasbu01@gmail.com

ISSN: 1696-8352

Aline Beatriz Rodrigues
Bacharel em Zootecnia
Intituição: Universidade Federal da Paraíba
Endereço: Areia, Paraíba, Brasil
E-mail: alinebeatrizrodrigues831@gmail.com

Matheus Ramalho de Lima
Doutor em Zootecnia
Intituição: Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Endereço: Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil
E-mail: mrlmatheus@ufersa.edu.br

Raul da Cunha Lima Neto
Doutor em Zootecnia
Intituição: Universidade Federal do Oeste do Pará
Endereço: Satarém, Pará, Brasil
E-mail: cunhalimant@gmail.com

RESUMO
O artigo aborda a importância dos microminerais, como zinco, cobre e manganês, na nutrição de poedeiras comerciais, destacando a relação entre a carência mineral e suas consequências na produção avícola. A pesquisa é motivada pela constante atualização das exigências nutricionais dos minerais e a relevância de sua biodisponibilidade no trato gastrointestinal dos animais. Os objetivos do estudo incluem revisar a literatura sobre a suplementação mineral em rações e avaliar seu impacto na saúde óssea, produção e qualidade dos ovos. Para alcançar esses objetivos, foi realizada uma busca sistemática de artigos científicos e relatórios técnicos em bases de dados acadêmicas, com foco em estudos que analisaram diferentes fontes de minerais e suas aplicações práticas. A análise revelou que a inter-relação entre a quantidade e a qualidade dos minerais é crucial, pois deficiências nutricionais podem afetar negativamente o desempenho produtivo, enquanto excessos podem comprometer a saúde da ave. Os resultados indicam que a suplementação adequada de microminerais melhora tanto a qualidade da casca quanto a saúde geral das poedeiras, contribuindo para a eficiência produtiva e o bem-estar animal. Em conclusão, a pesquisa evidencia a necessidade de atualizações nas referências nutricionais e a importância da correta avaliação da disponibilidade mineral para otimizar a produção avícola.

Palavras-chave: Biodisponibilidade, Excretas, Histologia, Microminerais Traço, Tíbia, Toxicidade.

ABSTRACT
The article addresses the importance of trace minerals, such as zinc, copper, and manganese, in the nutrition of commercial layers, highlighting the relationship between mineral deficiency and its consequences on poultry production. The research is motivated

ISSN: 1696-8352

by the ongoing updates of nutritional requirements for minerals and the relevance of their bioavailability in the animals' gastrointestinal tract. The study's objectives include reviewing the literature on mineral supplementation in feed and evaluating its impact on bone health, egg production, and quality. To achieve these objectives, a systematic search of scientific articles and technical reports in academic databases was conducted, focusing on studies that analyzed different mineral sources and their practical applications. The analysis revealed that the interrelationship between the quantity and quality of minerals is crucial, as nutritional deficiencies can negatively affect productive performance, while excesses can compromise the health of the bird. The results indicate that adequate trace mineral supplementation improves both eggshell quality and the overall health of layers, contributing to productive efficiency and animal welfare. In conclusion, the research emphasizes the need for updates to nutritional references and the importance of correctly assessing mineral availability to optimize poultry production.

Keywords: Bioavailability, Excreta, Histology, Trace Microminerals, Tibia, Toxicity.

RESUMEN

El artículo aborda la importancia de los microminerales, como el zinc, cobre y manganeso, en la nutrición de ponedoras comerciales, destacando la relación entre la deficiencia mineral y sus consecuencias en la producción avícola. La investigación está motivada por la constante actualización de los requerimientos nutricionales de los minerales y la relevancia de su biodisponibilidad en el tracto gastrointestinal de los animales. Los objetivos del estudio incluyen revisar la literatura sobre la suplementación mineral en las raciones y evaluar su impacto en la salud ósea, la producción y la calidad de los huevos. Para alcanzar estos objetivos, se realizó una búsqueda sistemática de artículos científicos e informes técnicos en bases de datos académicas, con enfoque en estudios que analizaron diferentes fuentes de minerales y sus aplicaciones prácticas. El análisis reveló que la interrelación entre la cantidad y la calidad de los minerales es crucial, ya que las deficiencias nutricionales pueden afectar negativamente el rendimiento productivo, mientras que los excesos pueden comprometer la salud del ave. Los resultados indican que la suplementación adecuada de microminerales mejora tanto la calidad de la cáscara como la salud general de las ponedoras, contribuyendo a la eficiencia productiva y al bienestar animal. En conclusión, la investigación pone de manifiesto la necesidad de actualizaciones en las referencias nutricionales y la importancia de evaluar correctamente la disponibilidad mineral para optimizar la producción avícola.

Palabras clave: Biodisponibilidad, Excretas, Histología, Microminerales traza, Tibia, Toxicidad.

1 INTRODUÇÃO

No que se refere as rações para poedeiras, sabe-se que são formuladas à base de

ISSN: 1696-8352

grãos vegetais - principalmente o milho e a soja - os quais são deficitários em minerais. Dessa forma a suplementação mineral das rações torna-se necessária devido à participação dos minerais em diversos processos que vão desde a formação de enzimas até processos estruturais, tais como a formação óssea, a constituição da casca dos ovos e a qualidade interna do ovo. Além disso, a forma e a quantidade com que os minerais estão sendo disponibilizados na dieta das poedeiras podem vir a causar desequilíbrios nutricionais no corpo das aves, seja pela deficiência ou excesso do mineral, consequentemente, introduzi-los na alimentação animal foi um marco para a indústria de ração animal por permitir a melhora de problemas ósseos e de desempenho animal.

Do ponto de vista nutricional é preciso o fornecimento adequado de todos os nutrientes para atender às necessidades das aves de acordo com cada uma de suas fases de desenvolvimento até a produção. É essencial, com o início da postura, que seja feita prevenção contra a má formação da casca dos ovos em virtude da condição corporal e nutricional desses animais torna-se mais exigida metabolicamente com a produção dos ovos, pois, do ponto de vista comercial, a qualidade da casca do ovo torna-se mais relevante do que a qualidade interna do ovo porque a casca funciona como um tipo de embalagem que protege o albúmen e a gema contra as perdas naturais à medida que o ovo envelhece. A casca protege também o produto biológico contra possíveis agressões mecânicas durante o manuseio dos ovos no momento da coleta pós-postura até a sua comercialização.

As rações comerciais passaram a utilizar novos artifícios nutricionais para melhorar a suplementação mineral, por exemplo os minerais orgânicos que recebem essa terminologia por utilizar uma molécula orgânica junto do mineral, além da disponibilidade da fonte inorgânica tradicional. Também foi introduzida na composição química das rações os microminerais que são os minerais requeridos em menor quantidade pelo organismo mais de suma importância para o seu bom funcionamento, dentre eles o zinco, cobre e o manganês ganham mais atenção que os demais micros, devido as funções que esses desempenham no organismo.

O objetivo deste artigo é revisar a literatura científica sobre o papel do zinco, cobre e manganês na nutrição de poedeiras comerciais, destacando os efeitos das diferentes

ISSN: 1696-8352

fontes e níveis de suplementação desses microminerais sobre o desempenho produtivo, a qualidade dos ovos, a saúde óssea, a histologia dos sistemas digestório e reprodutor, além da biodisponibilidade e deposição mineral em tecidos e excretas.

2 METODOLOGIA

Para a elaboração desta revisão de literatura, foi realizada uma busca sistemática de artigos científicos, dissertações, teses e relatórios técnicos publicados em bases de dados acadêmicas, como PubMed, Scopus, Google Scholar e Web of Science. A seleção dos estudos foi pautada em critérios como a relevância para o tema proposto, qualidade metodológica e ano de publicação. Foram incluídos estudos experimentais e revisões anteriores que abordam a suplementação de zinco, cobre e manganês em rações para poedeiras comerciais, com foco nas fontes inorgânicas e orgânicas desses minerais, como sulfato e metionina hidroxi análoga. Além disso, foram consideradas pesquisas que avaliaram o impacto dessas suplementações sobre o desempenho produtivo (produção e qualidade dos ovos), saúde óssea, e os efeitos nos sistemas digestório e reprodutor das aves.

Os dados dos estudos selecionados foram analisados de maneira qualitativa, com ênfase nos mecanismos de ação dos minerais, sua biodisponibilidade e os impactos na fisiologia das poedeiras. As variáveis de desempenho e qualidade dos ovos foram destacadas, bem como os resultados sobre a histologia dos sistemas digestório e reprodutor, além da concentração de minerais em tecidos como o fígado e os ovos, e na excreção. Para a análise da qualidade óssea, foram considerados os métodos utilizados para mensuração da mineralização óssea.

3 EVOLUÇÃO DA NUTRIÇÃO MINERAL PARA ANIMAIS

A origem da suplementação mineral animal tem como norteador a nutrição humana, que foi referência para a solução de problemas de desordem metabólica, cujos sintomas eram semelhantes nos animais. A partir de então foi possível resolver situações

ISSN: 1696-8352

como perturbações ósseas; conhecer o potencial nutritivo dos alimentos encaminhando-se ao desenvolvimento de rações com maior densidade de nutrientes; gerar o modelo de criação em confinamento (Rutz; Murphy, 2009) que contribuíram para expansão da produção animal.

A utilização de microminerais na nutrição animal teve maior expansão a partir da década de 1930, devido ao resultado de pesquisas universitárias que apontaram o zinco e o cobre como nutrientes essenciais, além dos macrominerais já utilizados. Na época, a comercialização de fontes contendo zinco e cobre (resíduos e subprodutos industriais) a baixo custo permitiu que os mesmos fossem introduzidos na dieta animal, passando a ser um marco para a indústria de ração animal por contribuir na melhora dos problemas ósseos e de desempenho dos animais de produção, entre eles, as poedeiras.

Em detrimento do ocorrido e o avanço das pesquisas nutricionais até os dias atuais, entende-se que a fonte mineral ofertada na ração é um diferencial para o melhor desempenho das aves. Atualmente as fontes minerais são classificadas de acordo com o funcionamento no organismo do animal em relação à eficiência de absorção do metal (biodisponibilidade), assim, conforme Cohen e Steward (2014) podem ser descritas como: fontes convencionais ou inorgânicas (minerais inorgânicos); forma complexada ou orgânica (minerais orgânicos); complexos de metal inorgânico hidrolisado (hidroxi-minerais).

Independentemente do tipo de fonte mineral utilizada para suplementar as poedeiras, as funções dos minerais não são alteradas, o que tende a ocorrer é uma modificação na forma como esses minerais estão biodisponíveis para serem utilizados nos tecidos.

4 FONTES MINERAIS

4.1 MINERAIS INORGÂNICOS

A forma mineral habitualmente utilizada na nutrição animal são as fontes inorgânicas (óxidos, sulfatos, cloretos, carbonatos e fosfatos) por representarem um custo menor em relação às outras opções disponíveis no mercado (Silva; Pascoal, 2014). Normalmente

ISSN: 1696-8352

os microminerais são suplementados na forma de sais inorgânicos, mas devido a facilidade de dissociarem no ambiente com baixo pH no trato gastrointestinal superior (proventrículo), deixando-os mais susceptíveis a vários nutrientes e aos antagonistas que podem prejudicar a absorção e reduzir sua biodisponibilidade (Underwood, 1999) devido a solubilidade dos tipos de fontes dos sais inorgânicos serem diferentes (sulfatos e cloretos são mais solúveis do que carbonatos e óxidos) (Miles *et al.*, 1998).

De acordo com Rijsselaere e Bruneel (2018), os óxidos possuem ligações iônicas fortes que os impedem a dissociação e dessa forma não são absorvidos apenas excretados, enquanto os sulfatos são prematuramente mais solúveis (possuem ligações iônicas fracas). Uma vez dissociado, o metal ionizado se une a outros nutrientes da dieta, reduzindo a absorção tanto do nutriente como do próprio mineral.

Conforme Ashmead (1993), na maioria dos casos, o mineral na dieta deve estar como um cátion quando chegar ao intestino delgado, ligando-se a aminoácidos ou proteínas transportadoras, pois só assim são transportados para o citoplasma e absorvidos em sua maior parte no duodeno, devido ao pH desse segmento intestinal.

Relatos bibliográficos constataram interações do pH do trato gastrointestinal com a dieta ingerida, podendo interferir ativamente na absorção mineral, sendo necessária uma solubilização prévia da fonte mineral no lúmen intestinal antes da absorção (Ashmead,1993; Miles *et al.*, 1998; Underwood, 1999). Para Ashmead (1993) o processo de absorção é dependente do pH em virtude do ambiente, por exemplo, o pH ácido do proventrículo melhora a solubilização, enquanto o pH do intestino delgado a reduz, assim, os minerais podem se tornar insolúveis, impedindo sua absorção durante a passagem no intestino.

Os microminerais apresentam taxas de absorção relativamente baixas ocorrendo formas diferentes de absorção (difusão passiva ou transporte ativo) de acordo com a concentração mineral no lúmen intestinal ou a presença de proteínas específicas (Bertechini, 2014; Goff, 2018). Segundo Vieira (2008), quando os microminerais são solubilizados, as formas iônicas apresentam cargas elétricas que podem comprometer sua absorção por interagirem com outros componentes da dieta. Podem estar em quelatos, como o fitato, e terem uma interferência pela fibra, tanino, oxalato, silicatos ou outros minerais no trato

ISSN: 1696-8352

gastrointestinal que pode reduzir também a disponibilidade. Bem como causar irritação da mucosa intestinal, com outros minerais e, finalmente, ser excretado no ambiente (Mwangi *et al.*, 2017).

Além de todos os fatores relatados é pertinente citar a dificuldade em se determinar a digestibilidade e absorção dos minerais com precisão porque o organismo secreta minerais endógenos no trato gastrointestinal via suco pancreático, bile e células da mucosa (Hambridge; Casey; Krebs, 1986).

A quantidade e a qualidade dos minerais na ração são importantes, porém o mais relevante é a inter-relação entre cada mineral e outros nutrientes, pois quando em quantidades abaixo das necessidades, surgem deficiências nutricionais e em excesso o crescimento pode ser retardado e vitaminas podem ser destruídas (Araújo *et al.*, 2008). Por exemplo, o excesso de ingestão de Zn pode resultar em deficiência de Cu, que por sua vez, influencia na utilização de ferro pelo o organismo (Aksu; Aksu; Ozsoy, 2010).

Araújo *et al.* (2008), destacaram a importância da forma física, do tamanho das partículas e a ausência de substâncias tóxicas para os animais na aquisição dos compostos minerais provenientes de fontes inorgânicas.

4.2 MINERAIS ORGÂNICOS

Minerais orgânicos ou quelatados são nomenclaturas utilizadas para fazer menção aos minerais inorgânicos que utilizam moléculas orgânicas na sua composição química. Um quelato é um composto cíclico formado entre uma molécula orgânica e um íon metálico, sendo este último mantido dentro da molécula orgânica como se fosse uma garra (o "quelato" é derivado do grego que significa "garra" (McDoweell, 2003). É importante esclarecer que não existe mineral orgânico, todo mineral é inorgânico, porém recebe essa terminologia por ser ligada a uma molécula orgânica como o objetivo modificar o sítio de absorção e, aumentar a taxa de absorção dos microminerais, possibilitando a redução dos níveis de suplementação.

Essas ligações tornam os minerais mais estáveis e menos sujeitos a interações, tornando-os mais disponíveis ao organismo quando comparados às fontes inorgânicas

ISSN: 1696-8352

(Richards *et al.*, 2010) por impedir a sua conversão a um composto químico insolúvel no lúmen intestinal ou dificultar a sua absorção em um coloide insolúvel (Leeson; Summers, 2001). A ligação aminoácido e mineral não tem vínculo entre os compostos e quando dissociados não há perda do valor nutricional de ambos. Alguns exemplos deste tipo de ligação incluem glicina-cobre (Cu), histidina-ferro (Fe) e cisteína-zinco (Zn) (Bertechini, 2014).

Os minerais orgânicos variam em relação ao ligante usado para formar o complexo de metal e são tipicamente agrupados como: complexos, quelatos ou proteinatos. O termo complexo refere-se à reação de um íon metálico com uma molécula ou um íon que contenha um átomo que possua um único par de elétrons (Rutz; Murphy, 2009).

Os quelatos são estruturas aneladas que envolvem metais normalmente bivalentes, sendo classificados como: estruturais estáveis e úteis ao organismo; estruturais estáveis e prejudiciais ao aproveitamento do mineral; estruturais estáveis e úteis no aproveitamento do mineral (Bertechini, 2014). Como já mencionado, os microminerais mais pesquisados são o Cu, Mn e Zn, devido à possibilidade de formar ligações covalentes coordenadas com aminoácidos e peptídeos (Rutz; Murphy, 2009). Os proteinatos são produtos resultantes da quelatação entre um sal solúvel com aminoácidos ou hidrolisado parcial de proteínas (AAFCO, 2000).

A maior parte das pesquisas utilizando diferentes tipos de fontes para suplementação mineral das poedeiras apontam os minerais orgânicos como opção altamente viável e funcional, com maior estabilidade e biodisponibilidade, proporcionando melhores índices de absorção e, consequentemente, melhores taxas de eficiência de uso. Todavia, as vantagens e o efeito das fontes orgânicas sobre as fontes inorgânicas ainda permanecem controversos, podendo confundir a interpretação dos resultados (Kiefer, 2005; Silva; Pascoal, 2014). Há ainda o efeito benéfico ao meio ambiente devido à redução mineral na excreção. Este efeito foi verificado no estudo de Boruta *et al.* (2007) que relataram aumento da resistência óssea e diminuição da excreção mineral em todos os tratamentos em que poedeiras receberam a fonte orgânica comparadas às que receberam fontes inorgânicas de minerais.

ISSN: 1696-8352

Diferente dos minerais inorgânicos, a melhor absorção dos minerais orgânicos é devido à menor possibilidade de interação durante a digestão, pois são quimicamente inertes. Além disso, a presença de metal na sua estrutura torna-o resistente à ação das peptidases que poderiam quebrar as ligações internas dos peptídeos e destruir os quelatos (Rutz; Pan; Xavier, 2007; Hartman, 2017). Para os mesmos autores, o mecanismo de absorção dos minerais orgânicos é semelhante aos das proteínas, havendo diferença na estrutura, pois são menos hidrolisados no interior das células e posteriormente transportados intactos pelo sangue até o sítio de atuação, onde se acredita que ocorra a separação do íon metálico.

Na forma complexada, os minerais são absorvidos por carreadores intestinais de aminoácidos e de peptídeos, e não pelos transportadores intestinais clássicos de minerais, permitindo maior biodisponibilidade e capacidade de serem armazenados por períodos mais longos que os inorgânicos (Rutz; Pan; Xavier, 2007). A utilização de microminerais mais biodisponíveis pode ser mais eficiente em fases de maior desenvolvimento da ave de postura, quando há intenso metabolismo celular e enzimático e consequente necessidade de minerais como cofatores (Nys *et al.*, 2004). Trabalhos como o Paik (2001) solidificam tais apontamentos ao descrever que a utilização de minerais complexados pode amenizar a queda na produção de ovos em galinhas mais velhas no segundo ciclo de postura.

5 FONTE INORGÂNICA vs FONTE ORGÂNICA

Abd El-Hack *et al.* (2018) avaliaram o efeito de Zn-Met no desempenho e qualidade de ovos de poedeiras (22 a 34 semanas) e encontraram efeito da fonte orgânica sobre o consumo de ração. O acréscimo dos níveis Zn-Met (até 100 mg / kg de dieta) contribuiu para o aumento no número de ovos, peso e a massa de ovos em comparação com outros grupos. Ao utilizar Zn-Met em aves com 49 semanas de idade, Li *et al.* (2019) encontraram aumento no consumo de ração e na taxa de conversão alimentar por massa de ovos com a suplementação de 80 mg/kg de Zn-met.

ISSN: 1696-8352

O uso de Zn inorgânicos (sulfato de Zn) com diferentes níveis de suplementação para poedeiras de segundo ciclo de produção resultou em melhor desempenho de postura, menor consumo de ração e redução de comportamento agressivo no grupo das aves que receberam 130 mg de Zn/kg de ração (Sorosh *et al.*, 2019).

Pang e Applegate (2007) ao testarem fontes inorgânica e orgânica de Cu relataram diferentes efeitos para as fontes testadas quanto suas solubilidade obtendo respostas sobre o crescimento da ave, na oxidação da vitamina E e na utilização do fitato-P, de maneira oposta. Oliveira *et al.* (2019), constataram melhora na conversão alimentar das aves que fizeram uso de fonte orgânica de Cu (25ppm de proteinato) como promotor de crescimento quando utilizaram rações sem antibiótico. Segundo Arias e Koutsos (2006), o cobre pode afetar a microbiota intestinal, reduzir a número de linfócitos intestinais e permitir melhor crescimento das aves.

Em estudo recente, Ren *et al.*, (2020) comparam os efeitos de diferentes fontes de Zn e Cu (óxido vs mineral metionina hidroxi análoga) na presença de fitase e concluíram que o Zn orgânico melhorou a eficácia da fitase na degradação do fitatio-P em comparação como o Zn inorgânico, enquanto o Cu orgânico foi mais eficaz como promotor de crescimento que o Cu inorgânico e ainda exerceu efeito sinérgico com a fitase resultando em melhor eficiência alimentar e mineralização óssea. Os mesmos autores atribuíram a suplementação da fitase os efeitos encontrados na morfologia do intestino delgado (aumento da altura de vilosidade no duodeno, jejuno e íleo).

Que a utilização de Zn, Cu e Mn na forma orgânica para poedeiras promoveu maior peso de ovo e de gravidade específica, e permitiu a redução da quantidade de ovos danificados ao utilizar dieta basal com 50% de suplementação desses microminerais (Maciel *et al.*, 2010). Por outro lado, Yildiz *et al.* (2011) utilizando diferentes fontes e níveis de Mn não observaram mudanças significativas no peso, espessura e resistência de casca, e da gravidade específica.

Saleh *et al.* (2019) ao incluírem Zn, Cu e Mn orgânico na dieta das aves constaram aumento do peso do ovo, na largura do albúmen, no peso e espessura da casca, como também, melhora no perfil plasmático, na concentração de minerais na gema, na oxidação

ISSN: 1696-8352

dos lipídios da gema e a resposta imune da poedeiras foi melhor quando a temperatura ambiente aumentou.

Segundo Stefanello *et al.* (2014) há menor perda de ovos e maior resistência da casca com a suplementação da fonte orgânica de cobre, manganês e zinco quando comparada com a fonte inorgânica na ração de poedeiras. Spring (2013) reuniu 23 trabalhos entre 1996 a 2008 e fez uma meta análise, verificando que a substituição total de minerais inorgânicos por minerais orgânicos (proteinatos) melhorou a espessura e a resistência da casca e consequentemente diminuiu a porcentagem de ovos trincados ou rachados.

Em relação ao desempenho e a qualidade dos ovos de poedeiras, Yilmaz Dikmen *et al.* (2015) concluíram que a suplementação de 1 g/kg mineral quelato aminoácidico (ZnAA - MnAA) à dieta aumentou o peso dos ovos, a produção de ovos e teve efeitos favoráveis qualidade externa e interna dos ovos de poedeiras no final do período de postura.

Rubio Zapata (2016) avaliou o efeito de níveis crescentes de Zn, Mn e Cu na dieta, a partir de fontes orgânicas e inorgânicas, relatando redução na produção e massa de ovos, aumento da gema em 23% e aumento do teor de ferro e cálcio no ovo em concentrações superior a 150 mg/kg de Zn dietético.

Carvalho *et al.* (2015), avaliaram a inclusão de minerais orgânicos (Cu, Mn e Zn) na alimentação de galinhas poedeiras de segundo ciclo e concluíram que em todos os níveis (100, 90, 80 e 70%) ocorre redução na excreção dos minerais avaliados e não afeta a produção e a qualidade dos ovos.

6 IMPORTÂNCIA DOS MICROMINERAIS

Os minerais são elementos inorgânicos que aves não têm capacidade de sintetizá-los, sendo necessário o uso de fontes minerais adequadas para suprir a exigência nutricional dos animais. A deficiência mineral pode gerar problemas de ordem metabólica, estrutural e fisiológica pois eles atuam em importantes processos bioquímicos corporais. Os minerais são divididos em macro e microminerais em função da quantidade necessária

ISSN: 1696-8352

exigida pelo organismo, mas todos atuam de forma imprescindível ao ótimo funcionamento do corpo da ave.

A importância dos microminerais foi negligenciada por muito tempo (Bertechini, 2014). À medida que o conhecimento sobre eles era ampliado, detectou-se influências amparadas em duas vertentes: a primeira com resultados positivos por melhorar a taxa de postura, a qualidade da casca do ovo e maior eclodibilidade de ovos oriundos de aves destinadas à reprodução (Rijsselaere; Bruneel, 2018) e a segunda com efeito negativo (redução do desempenho, da qualidade externa e interna dos ovos e possível contaminação ambiental) (Singh; Ghosh; Haldar, 2015). Consequentemente, concluiu-se, que o desempenho e a saúde das poedeiras necessitam da manutenção do status mineral. Os primeiros sinais de deficiência mineral são subclínicos (declínio da imunidade e das atividades enzimáticas) mas também pode afetar o desempenho e ocorrer o surgimento de patologias da idade e do período pelo o qual as aves passem pela carência mineral (Leeson; Summers, 2001; McDowell, 2003).

Os microminerais têm inúmeras funções (Quadro 1) a principal é como agentes catalíticos em todas as reações do metabolismo, sendo requeridos em valores inferiores a 50 mg/kg de peso vivo (Bertechini, 2014).

Quadro 1. Principais funções do cobre, manganês e zinco

Mineral	**Principais funções**
Cobre (Cu)	Ativador enzimático envolvendo o transporte e a transferência de oxigênio, metabolismo dos aminoácidos e do tecido conectivo; auxilia na absorção do Fe.
Manganês (Mn)	Integridade da matriz orgânica óssea e ativador enzimático.
Zinco (Zn)	Ativador enzimático, principalmente nos processos de formação óssea, do metabolismo dos ácidos nucléicos, do sistema imunológico e do sistema reprodutivo; componente da insulina.

Fonte: Adaptado de McDowell (2003); Silva e Pascoal (2014).

O uso excessivo de microminerais na suplementação dietética de poedeiras decorre da variedade de resultados quanto à exigência nutricional para o animal; a disponibilidade dos minerais nos alimentos utilizados na formulação da ração; e a biodisponilidade do tipo de fonte utilizada. Então, como precaução, tornou-se comum o uso de super

ISSN: 1696-8352

dosagens de microminerais a fim de compensar a deficiência de certezas. Em contrapartida, o uso excessivo de microminerais pode causar inter-relações indesejáveis, afetar o desempenho, produtividade e qualidade final do ovo, como também comprometer o meio ambiente, devido à sobrecarga mineral encontrada nas excretas das aves.

Do ponto de vista nutricional, os minerais são muito mais predispostos a interagir com outros nutrientes devido a sua inconstância e tendência a formar ligações químicas (Henry; Miles, 2000), sendo comuns as interações (sinérgicas ou antagônicas) com vitaminas e hormônios, e entre os próprios minerais (Silva; Pascoal, 2014). Aprofundar-se sobre as causas que geram perdas no processo produtivo avícola, permite o desenvolvimento de ações sustentáveis e precisas para se chegar a resultados mais eficientes, beneficiando a qualidade, o bem-estar animal, e o meio ambiente; o retorno econômico ao produtor; e um produto de qualidade ao consumidor.

Entre as causas que geram perdas significativas na produção está a desatualização das exigências nutricionais dos minerais - com ênfase nos microminerais – que mudam constantemente. Portanto é importante manter atualizada as referências para tais exigências com o intuito de chegar ao sucesso da atividade. Além das exigências é preciso presumir a disponibilidade dos minerais, pois, conforme McDowell (2003), as concentrações minerais são significativas tanto dentro do trato intestinal como a nível celular.

Logo, o desenvolvimento de linhagens precoces e mais produtivas acaba por requerer respostas nutricionais precisas para que estas novas linhagens possam ter condições de propagar bons resultados ao produtor. Para isso, avanços contínuos na nutrição de aves são necessários a fim de reduzir falhas como suplementação excessiva para assegurar margem de segurança que pode resultar em interações antagônicas durante o processo de absorção, resistência antimicrobiana, emissão de minerais no meio ambiente e ovos de qualidade inferior.

Normalmente os microminerais (Cu, Fe, Mn, Se e Zn) são suplementados nas dietas na forma de premix. Contudo, estudos recentes com poedeiras direcionam mais atenção aos minerais de transição (Cu, Mn e Zn) em decorrência de suas características físico-químicas, como também o selênio por desempenhar ações antioxidantes junto com a vitamina E (Rutz; Murphy, 2009). O boro, silício, arsênio, níquel, cádmio, lítio, estranho,

ISSN: 1696-8352

chumbo e vanádio também compõem o grupo dos microminerais, todavia, há poucos estudos sobre os mesmos (são caracterizados como potencialmente tóxicos) e os resultados são divergentes. Segundo Nys *et al.* (2018), os microminerais potencialmente tóxicos podem ter alguma capacidade de essencialidade na alimentação dos animais que fizerem uso de dietas deficientes em minerais, mas devido ao desinteresse em explorá-los em nutrição prática e seus potenciais de toxicidade, esses microminerais ficam sem explorações relevantes até o momento.

6.1 COBRE

O cobre é cofator de vários sistemas enzimáticos (citocromo oxidase; superóxido dismutase; ceruloplasmina; tirosinase) (Silva; Pascoal, 2014); participa da formação/mineralização dos ossos (Nys; Revy; Jondreville, 2003) e em especial da cartilagem; tem relação com o desenvolvimento e coloração das penas e pode ser encontrado em alguns pigmentos; atua na formação de membranas da casca e na casca do ovo (Leeson; Summers, 2001; Scheideler, 2008; Favero *et al.*, 2013) e na defesa do organismo contra o estresse oxidativo (Nys; Revy; Jondreville, 2003). Além disso, o Cu possui propriedades antimicrobianas e melhora a saúde intestinal (Wang *et al.*, 2014), sendo utilizado como promotor de crescimento (Kleyn, 2013) em substituição a antibióticos (Oliveira *et al.* 2019).

O cobre relaciona-se com o metabolismo do ferro e ambos são necessários para a produção de glóbulos vermelhos (Kleyn, 2013). A deficiência de Cu em aves é sinal de anemia (Leeson; Summers, 2001; McDowell, 2003), além do mais, níveis inferiores de Cu resultam em distribuição irregular do elemento na membrana da casca, ocasionando aumento de ovos com casca irregular e de menor tamanho (Hafeez, 2015).

O Cu desempenha função antioxidante como parte integrante da enzima superóxido dismutase. Há relatos bibliográficos a respeito do tipo de fonte de Cu sobre as propriedades pró-oxidante. O Cu inorgânico tem forte efeito pró-oxidante e pode estimular a peroxidação lipídica, a nível intestinal ou na ração, caso não esteja ligado a proteínas,

ISSN: 1696-8352

já o Cu orgânico não possui propriedade pró-oxidantes, tornando-o mais disponível para o animal (Surai, 2005).

Até o momento foi identificado dois estados de oxidação do cobre na matéria viva, cuprosa (Cu^{+}) e cúprico (Cu^{2+}) (Arredondo; Núñez, 2005). O Cu^{2+} está em maior quantidade no corpo, devido à presença de oxigênio ou outros receptores de elétrons capazes de oxidar o Cu^{+} em Cu^{2+} (Sharp, 2004).

6.2 MANGANÊS

Manganês é componente de enzimas importantes no metabolismo dos carboidratos, lipídios e proteínas, como a arginase, piruvato carboxilase e manganês-superóxido dismutase, além de ativar as enzimas hidrolases, quinases, descarboxilases e transferases (Figueiredo Júnior, 2010).

O manganês foi associado como o responsável pelo aumento da espessura da mucosa do estômago e aumento da atividade da enzima superóxido dismutase (Scrutton; Griminger; Wallace, 1972). O Mn é parte integrante da superóxido dismutase, sendo de maior relevância para a função imunológica, através processos de antioxidação (Surai, 2005).

O Mn pode formar quelatos com aminoácidos (aminoácidos-piridoxal-fosfato-manganês) e este quelato é transportado mais rapidamente no organismo do que os aminoácidos isoladamente (Andriguetto *et al.*, 2006). Segundo Fassani *et al.* (2000), o manganês é importante na produção e na qualidade dos ovos, pois participa ativamente no processo produtivo e na atividade fisiológica normal das aves. É responsável por ativar enzimas envolvidas na síntese de mucopolissacarídeos e glicoproteínas que contribuem na formação da matriz orgânica dos ossos e da casca do ovo (Georgievskii, 1982). A deficiência de Mn pode ocasionar encurtamento dos ossos longos (Scheideler, 2008), em aves em produção aumenta a incidência de ovos de casca fina e reduz a produção (Georgievskii, 1982; Yildiz; Cufadar; Olgun, 2011) e tem efeito negativo sobre a eclodibilidade Favero *et al.*, 2013; Kleyn, 2013).

ISSN: 1696-8352

Independente da fonte de Mn utilizada pelas aves a redução na quantidade desse mineral na dieta gera diminuição dos níveis de apoptose celular e o excesso pode se acumular na mitocôndria e interfere na fosforilação oxidativa, levando a produção de espécies reativas de oxigênio (Gunter *et al.*, 2006). Além das mitocôndrias o Mn pode ser acumular na matriz inorgânica do osso (Goff, 2018).

6.3 ZINCO

O zinco participa do crescimento e desenvolvimento ósseo, é um cofator da anidrase carbônica, enzima essencial para a formação da casca do ovo e calcificação dos ossos (Leeson; Summers, 2001). A deficiência dessa enzima provoca redução na secreção de íon bicarbonato que diminui o peso da casca do ovo e a deficiência do elemento Zn, além da má qualidade da casca do ovo, afeta o sistema imunológico (Favero *et al.,* 2013), causa problemas na plumagem, pele e infertilidade.

De acordo com Naz *et al.* (2016), a suplementação de Zn pode melhorar o crescimento das aves; aumentar a imunidade e a capacidade antioxidante; além de interagir com outros minerais no intestino.

Segundo Surai (2005), este é o segundo micromineral mais abundante nas aves e é componente de mais de 300 enzimas estando diretamente envolvido com a estrutura desse grupo de enzimas ou nas ações catalíticas e reguladoras desempenhada por elas na maioria das espécies. Assim como o manganês, o Zn faz parte do sistema antioxidante como parte integrante da enzima superóxido dismutase.

A superóxido dismutase depende de alguns cofatores enzimáticos por apresentar em sua composição um grupo prostético. De acordo com Barbosa *et al.*, (2011), o sítio de ativação e a localização celular na superóxido dismutase pode ser encontrada sob duas formas – no citosol como superóxido dismutase-Cu-Zn e na mitocôndria na forma de superóxido dismutase-Mn. A atividade superóxido dismutase em tecido aviário depende de fatores diferentes que inclui genética, nutrição e condições relacionadas ao estresse (BU *et al.*, 2001).

ISSN: 1696-8352

Existem indicações sobre o papel do Zn como antioxidante que necessitam de elucidações ainda. Até o momento, é possível afirmar que sua ação antioxidante é indireta, pois íons Zn não podem ser ativados em reações de óxido-redução (Koury; Donangelo, 2003).

A nível microscópico, o Zn é transportado das células musculares lisas (através da matriz do tecido conjuntivo no espaço extracelular) para as células caliciformes epiteliais (Butzen; Root; Starcher, 1985).

7 FATORES QUE PODEM INTERFERIR NA NUTRIÇÃO E FISIOLOGIA DA ABSORÇÃO DOS MICROMINERAIS

A literatura elenca alguns fatores que podem vir a interferir na nutrição e fisiologia da absorção dos microminerais para as poedeiras e, portanto, comprometer a biodisponibilidade no trato gastrointestinal.

7.1 BIODISPONIBILIDADE

A biodisponibilidade do mineral, ou seja, a fração do mineral que realmente é absorvida e utilizada pelo animal, sofre variações de acordo com o tipo da fonte mineral e aspectos relacionados a esta, como granulometria; presença e concentração de outros minerais; presença de íons; e técnicas físico-químicas aplicadas na sua produção. A biodisponibilidade pode ser maior à medida que a superfície dos minerais aumenta (Hassan; Hassan; Rehman, 2020). A disponibilidade dos minerais pode variar também em função da linhagem; sexo; idade; estado fisiológico; saúde; resposta individual; consumo de minerais; relação entre os minerais; níveis de vitaminas, proteínas, fibra e gordura; e níveis de fatores antinutricionais (oxalatos e os fitatos) (Henry; Miles, 2000; Lu *et al.*, 2010). Os ácidos oxálico e fítico possuem a capacidade de se ligar a alguns metais, formando quelatos, o que interfere no metabolismo, e induz à deficiência destes metais (Soetan; Olaiya; Oyewole, 2010).

ISSN: 1696-8352

O uso de diferentes fontes minerais disponíveis no mercado para aves contribui para melhorar o desempenho das galinhas, além de proporcionar um produto biológico de melhor qualidade em relação às aves que não são suplementadas por nenhuma fonte mineral. Pesquisas mostraram que as fontes inorgânicas, orgânicas e as hidroxi-minerais não têm a mesma biodisponibilidade (Agapito, 2016; Li *et al.*, 2018; Olukosi, Van Kuijk; Han, 2019).

7.2 TOXICIDADE

A toxicidade é definida como o estágio no qual a produção diminui e a extensão e gravidade dos sintomas observados nos animais são em função da ingestão dietética de microminerais, bem como o tempo de consumo excessivo (Kleyn, 2013). A exposição a concentrações tóxicas pode ocorrer de várias maneiras; os níveis minerais nos ingredientes da ração podem variar devido aos fatores do solo e à quantidade e disponibilidade dos minerais no solo; o suprimento natural de água pode conter níveis excessivos de S, Na, Mg e Fe e pode até haver contaminantes industriais na água; pode ocorrer problemas de contaminação cruzada na fábrica de pré-mistura e nas fábricas de ração que levem a níveis mais altos do que os esperados na ração (McDowell, 1992). É válido ressaltar que os animais recusam a alimentar-se quando a dieta está contaminada com metais pesados.

As quantidades ingeridas de um mineral tóxico e a duração da ingestão determinam se o animal morre rapidamente (toxicidade aguda) ou se sofre apenas de perda branda de produção (toxicidade crônica) (Leeson; Summers, 2001). Além disso, animais jovens e saudáveis podem não reagir da mesma maneira que os animais mais velhos, desnutridos ou doentes. Alguns elementos, como arsênico, chumbo, cádmio, mercúrio e alumínio são frequentemente classificados como elementos tóxicos (McDowell, 1992).

Os principais sintomas de toxicidade originada pelo excesso de ingestão dietética de Cu, Mn e Zn para galinhas na fase de produção (Nunes, 1998; Leeson; Summers, 2001; Ewing; Charlton, 2007) são:

ISSN: 1696-8352

- Cobre - pode prejudicar o apetite e a digestão; altos níveis de Cu aumentam a necessidade de aminoácidos sulfurados; distrofia muscular; reprodução prejudicada; anemia; lesão hepática, icterícia, necrose, morte.
- Manganês - dentre os minerais abordados nessa temática, o Mn apresenta o menor potencial de toxidez para as aves. Galinhas poedeiras toleram altas concentrações dietéticas de Mn devido ao consumo crônico em função das deficiências secundárias de outros minerais, principalmente o Fe (McDoweel, 1992).
- Zinco - o excesso de Zn na dieta levará a uma recusa alimentar ao invés de efeitos tóxicos. Peso vivo é reduzido; animais jovens são mais suscetíveis que animais mais velhos. As poedeiras manifestam anemia e redução da produção de ovos.

8 INTER-RELAÇÕES ENTRE OS MICROMINERAIS

A quantidade e a qualidade dos minerais na ração são importantes, porém o mais importante é a inter-relação entre cada mineral e outros nutrientes, pois quando em quantidades abaixo das necessidades aparecerem deficiências nutricionais e em excesso o crescimento pode ser retardado, e vitaminas podem ser destruídas (Araújo *et al.*, 2008).

Nos anos 90 o termo interação foi estabelecido por O'Dell como sendo a inter-relação evidenciada entre os elementos minerais através de respostas fisiológicas ou bioquímicas. Fixada a terminologia, as inter-relações foram classificadas em dois grupos – sinérgicas ou positivas e antagônicas ou negativas. Inter-relações sinérgicas são ações conjuntas dos minerais com resultado benéfico ao metabolismo animal, o qual não ocorreria com a ação individual dos minerais envolvidos (Henry; Miles, 2000; Silva; Pascoal, 2014). Desta forma, as interações sinérgicas podem melhorar simultaneamente a absorção dos minerais no trato gastrointestinal e desempenhar a mesma função metabólica no tecido ou na célula; Inter-relações antagônicas ocorrem quando diminui a inibição da absorção no trato gastrointestinal de um ou mais minerais que estiverem em excesso, gerando condições de deficiência entre os elementos afetados e comprometendo a absorção de outros elementos e sua função bioquímica no organismo da ave. Interações antagônicas são mais fáceis de visualizar na prática, pois as desordens nutricionais ocasionadas por

ISSN: 1696-8352

deficiências prolongadas, tendem a produzir distúrbios no animal (Henry; Miles, 2000) que às vezes apresenta sintomas semelhantes a alguma patologia, porém a correção da deficiência faz com que o animal se recupere. No Quadro 2 está apresentado alguns tipos de inter-relações no organismo animal

Quadro 2 – Maneiras com as inter-relações entre os microminerais podem ocorrer dentro do trato gastrointestinal

SINERGISMO	ANTAGONISMO
Interações diretas O nível de absorção determina sua proporção na dieta Ex.: Zn/Co *Interações indiretas* Ex.: Cu + Fe = hemoglobina; Mn + Zn = formação de RNA (fígado)	*Processo de absorção gastrointestinal* -Reações químicas formando um complexo insolúvel Ex.: Zn + ácido fítico = fitato -Competição entre íons com carga semelhante (absorção passiva) Ex.: Cu, Fe, Mn e Zn
Participação simultânea no centro ativo de enzimas Ex.: Fe + Mo = kantina-oxidase; Cu + Fe = cítocromo-oxidase	*Processos metabólicos dos tecidos* -Competição entre íons pelos centros ativos enzimáticos Ex.: Mg e Mn na fosfatase alcalina -Competição pelas ligações com substâncias carregadoras no sangue Ex.: o Zn com o Fe pela transferrina - Efeito antagônico de diferentes íons sobre as enzimas receptoras
Ativação dos órgãos endócrinos e expressando seus efeitos sobre o metabolismo de outros minerais Ex.: Iodo	

Fonte: Adaptado de Henry e Miles (2000); Silva e Pascoal (2014).

Dentre todos os nutrientes, os minerais são os mais predispostos a interagir com outros nutrientes, devido a sua variabilidade e tendência a formar ligações químicas. Em virtude dessas características as inter-relações podem ocorrer de forma unidirecional, recíprocas ou múltiplas (Henry; Miles, 2000).

Interação unidirecional (Zn e Cu) - ocorrem quando um mineral se sobrepõe a outro mineral e o inverso não ocorre. Storey e Greger (1987) relataram que a ingestão excessiva de Zn diminui as concentrações de Cu dos tecidos moles. Pang e Applegate (2007), constaram com a suplementação de Cu aumento da porcentagem significativo do

ISSN: 1696-8352

Zn que é associado a pequenos complexos. Para Soetan; Olaiya e Oyewole (2010), a deficiência de Cu resulta em aumento de Fe no fígado, enquanto que excesso de Cu resulta em redução no teor de Fe no fígado, indicando o efeito do Cu na utilização do Fe. Os mesmos autores concluíram que a deficiência de Zn em galinhas mais velhas reduz a produção de ovos e a eclodibilidade.

Interação recíproca (Zn e Fe) – se dá quando um mineral influencia o metabolismo do outro. Alta ingestão de Fe na dieta pode diminuir a absorção de Zn (Soetan; Olaiya; Oyewole, 2010). Stahl; Greger e Cook (1989) relataram que a mobilização do Fe armazenado foi afetada pelo excesso de suplementação de Zn. A absorção de Fe é influenciada pelo Cu e a deficiência de Cu altera o metabolismo do Fe por um efeito sobre a atividade ferrioxidase da ceruloplasmina, que é essencial para a liberação de Fe dos tecidos (Sharp, 2004). A ingestão de excesso de Zn diminui as concentrações de Cu no fígado e pâncreas, e também a concentração de Fe nas tíbias (Stahl; Greger; Cook, 1989).

Interação múltipla (Cu-Mo-S) – a inter-relação múltipla específica pode ocorrer em virtude de altos níveis de molibdênio na dieta, aumentando bastante os requisitos de cobre.

Segundo Nunes (1998) a adição de enxofre a dieta ajuda a prevenir a intoxicação por molibdênio, porém o consumo exagerado de enxofre aumenta o requisito de cobre porque os sulfatos tornam o cobre indisponível. Embora milho e soja sejam deficientes em muitos minerais, de maneira geral, o nível de Cu desses ingredientes é adequado para as dietas de aves, enquanto o nível de Mo é baixo. Acredita-se que, em função do hábito alimentar, os não ruminantes toleram mais elevadas concentrações de Cu do que os ruminantes. Soetan; Olaiya e Oyewole (2010) relatam que suínos e aves recebendo diariamente 100 a 250 ppm de sulfato de cobre como agente microbiano e promotor de crescimento não apresentam sinais de toxicidade, enquanto os mesmos níveis de cobre ofertados a bezerros e cordeiros são considerados níveis tóxicos. Até o momento já foram evidenciadas mais de 50 inter-relações entre minerais. No entanto, não é parte do objetivo dessa revisão detalhá-las, portanto alguns exemplos serão apresentados de forma breve, apenas como ilustração dos muitos tipos de inter-relações que podem ocorrer.

ISSN: 1696-8352

De acordo com alguns autores (Nunes, 1998; Henry; Miles, 2000; Ewing; Charlton, 2007) as principais inter-relações dos microminerais estão retratadas no Quadro 3.

Quadro 3 – Inter-relações, sinergismos e antagonismos dos principais microminerais como minerais, vitaminas e hormônios em não ruminantes

Mineral	Perspectivas das ações minerais
Cu	**Interação:** Cu:Fe (Cu é necessário para o metabolismo adequado do Fe); Cu:Se (Deficiência de Cu e Se ocorrem simultaneamente). **Sinergismo:** Cu:Se (O Se tende a reduzir os níveis séricos de Cu (ceruloplasmina) - este parece ser um efeito moderador). **Antagonismo:** Excesso de Cu interage com Ca, Zn, Fe, Mo, S; Absorção reduzida por: dietas ricas em fitatos, alto Ca, S Fe, Zn, Cd, Ag, Mo; Excesso de Zn reduz as reservas de Fe e Cu no fígado e induz a síntese da proteína metalotioneína; A interação Cu-Mo-S.
Mg	**Interação:** Ca, P, Ferro, Co, Cd, Zn em efeito direto sobre: a função do cobre e do zinco e o ferro podem ser intercambiáveis em alguns sistemas enzimáticos; **Sinergismo:** Mn é necessário para utilização de biotina, Vitamina B1 e Vitamina C; O manganês e a vitamina K trabalham juntos na coagulação sanguínea; Os hormônios estrogênicos aumentam a absorção; O baixo Mn dietético reduz o acúmulo de Se nos tecidos. **Antagonismo:** O excesso de Ca reduz a absorção de Mn no duodeno; O excesso de Mn interfere com Ca, Ph e pode induzir anemia por deficiência de ferro devido ao seu efeito na síntese de hemoglobina; As altas ingestões de Ca e P agravam a deficiência de Mn; Mn compete com Fe e Co pelos sítios de ligação nas proteínas de captação intestinal; O Mn antagoniza o molibdênio e o Zn da dieta reduz a absorção de Mn.
Zn	**Sinergismo:** O Zn é necessário para o metabolismo e transporte da Vitamina A; Quelantes orgânicos de Zn podem aumentar a eficiência da absorção de zinco; Zn dietético adicional pode ajudar a aliviar a toxicidade por chumbo e cádmio. **Antagonismo:** Absorção é afetada por oxalatos de cálcio, Cu e dietas ricas em fibras e fitato; O cádmio é um antimetabólito do Zn; O chumbo impede a absorção do Zn e interfere na função do zinco; O Fe pode ser afetado pelo excesso de Zn levando a induzir anemia.

Fonte: Elaborada pelos autores

Acidentes de suplementação por contaminação ou erro na mistura dos ingredientes estão propensos a ocorrer, em virtude de falhas humanas, resultando em problemas devido às interações minerais. De acordo com Henry e Miles (2000), são necessários es-

ISSN: 1696-8352

tudos para compreender melhor como as inter-relações influenciam na absorção, excreção, armazenamento e utilização de outros elementos. Os autores ainda consideram a possibilidade de existir outras interações que ainda não foram reconhecidas ou interações cuja importância não tenha sido investigada em termos práticos.

9 RELAÇÃO DOS MINERAIS COM A QUALIDADE DA CASCA DO OVO

Sobre aos parâmetros de qualidade interna do ovo, sabe-se que o uso da suplementação mineral é bastante voltado para prevenir os defeitos na má formação da casca do ovo e melhorar a condição corporal/óssea das aves.

Com relação a formação e qualidade de casca faz-se necessário compreender que se trata de um processo dinâmico ao qual o metabolismo da ave é bastante exigido tendo em vista que durante a formação da casca do ovo é preciso a ativação de hormônios, utilização de macro e microminerais, e ainda conta com a participação do processo respiratório da galinha, por isso que condições nutricionais e ambientais podem influenciar diretamente na qualidade da casca.

Para a formação da casca do ovo é preciso de Ca, P e hormônio da paratireoide (PTH). Segundo Pelicia *et al.*, (2009) quando é iniciada a formação da casa do ovo o nível de Ca no plasma diminui muito rápido, em virtude disso ocorre a estimulação da secreção hormonal (PTH) que tem como função estimular a síntese de hidroxilase nos rins aumentando a produção de 1,25 (OH) 2D3 que ao entrar em contato com a mucosa intestinal vai estimular os ossos a absorverem o Ca, enquanto a função do P é reduzir a acidose no sangue, pois o nível de P na corrente sanguínea durante a formação da casca do ovo é alto, levando a excreção de fosfato pelo ruim. Durante a excreção, o fosfato realiza íons H^+, auxiliando a manutenção dos níveis de bicarbonato, consequentemente reduzindo a acidose (Bertechini, 1998). O íon de carbonato se origina do dióxido de carbono presente no sangue, que ao entrar em contato com a anidrase carbônica passa por processos que o transformam em íons de bicarbonato (Gauton *et al.*, 2021).

ISSN: 1696-8352

Durante a maturidade sexual as aves passam por inúmeras adaptações fisiológicas para atender à necessidade metabólicas do Ca, então o oviduto e o osso medular se desenvolvem ao mesmo tempo para quando iniciar a produção dos ovos a capacidade do osso medular em secretar o cálcio para o útero esteja assegurada (Gauton *et al.*, 2021).

O papel o Zn, Mn e, Zn e Mn na formação do ovo foram relatados, respectivamente como: aumento da espessura da casca do ovo (Zamani; Rahmani; Pourreza, 2005); aumento da resistência da casca do ovo devido a síntese de glicosaminoglicanos na membrana da casca do ovo (Xiao *et al.*, 2014); o fornecimento simultâneo dos micros na dieta aumentou a força da casca do ovo para 36,7 N quando as aves estavam com 70 semanas de idade (Świątkiewicz; Koreleski, 2008), enquanto as poedeiras com 35 semanas de idade não teve efeito sobre as mesmas condições experimentais (Świątkiewicz; Koreleski, 2007).

10 RELAÇÃO DOS MINERAIS COM A MORFOLOGIA INTESTINAL

Compreender o desenvolvimento das estruturas microscópicas que formam os segmentos do intestino delgado faz-se pertinente, tendo em vista que é nesse órgão que se dá o sucesso ou insucesso da nutrição do animal.

Os principais eventos citológicos que proporcionam o desenvolvimento da mucosa intestinal são a renovação celular (proliferação e diferenciação) e a descamação celular no ápice dos vilos (Uni *et al.*, 1999).

O número e o tamanho dos vilos, e a quantidade de microvilosidades presente neles são bem característicos em cada segmento do intestino delgado e cada um dos segmentos vai ter sua capacidade de absorção diretamente proporcional a área de superfície disponível, ou seja, proporcional ao número e tamanho de vilos ali presentes (Macari, 1999), assim o desenvolvimento da mucosa consiste no aumento da altura e densidade dos vilos que resultam no aumento em número de suas células epiteliais.

Um achado interesse já bem demarcado por pesquisas é quanto a ação de fatores tróficos sobre a altura e densidade das vilosidades. Segundo Maiorka *et al.* (2000) um agente trófico é considerado um agente estimulador por ter a capacidade de estimular ou

ISSN: 1696-8352

reparar o crescimento da mucosa intestinal ao promover a síntese de DNA, que vai ativar o aumento da taxa de mitose celular ali, resultando no desenvolvimento da mucosa intestinal.

Além do desenvolvimento da mucosa, os agentes tróficos são capazes de alterar o muco (quantidade) ou diretamente a permeabilidade da mucosa, podendo esses efeitos aumentam ou diminuem a absorção do mineral depende de seu modo normal e eficiência de absorção (Powell *et al.*, 1994).

Quando há alguma resposta do intestino delgado ao agente trófico ocorrem mudanças entre os processos citológicos já mencionados, ocasionando um desequilíbrio entre eles que se tem confirmação pela modificação na altura dos vilos. Dessa forma, entende-se que os aumentos de vilosidades estão ligados a maior atividade digestiva e absorção intestinal, decorrente do aumento da área de absorção, secreção enzimática na borda em escova da membrana, sistema de transporte de nutrientes e consequentemente potencialização do desempenho produtivo da ave (Norouzian *et al.*, 2018).

11 RELAÇÃO DOS MINERAIS COM A MORFOLOGIA REPRODUTOR FEMININO

A morfologia do sistema reprodutor das poedeiras precisa ter mais atenção nas investigações posteriores, pois ainda são escassas algumas informações e se existem relações dependentes ou independentes da presença dos microminerais.

Até o momento tem-se que o Zn e o Mn são encontrados em todos os segmentos funcionais do sistema reprodutor, enquanto o Cu geralmente está em maior concentração no tecido do istmo. E que o Cu e o Zn possuem uma correlação significativa com os hormônios reprodutivos (progesterona e estradiol) (Prasad *et al.*, 1989).

Os hormônios são necessários para que as aves atinjam a maturidade sexual e inicie a produção de ovos, e o Zn, Cu e Mn participam direta ou indiretamente dessa fase. O zinco é componente de uma enzima que participa na expressão genética do hormônio reprodutivo (Tapiero; Tew, 2003); o cobre participa da síntese e manutenção do nível apropriado do LH e FSH (Cu+Zn) (Rajeswari; Swaminathan, 2014); o manganês tem

ISSN: 1696-8352

relação com a síntese dos hormônios esteroides devido a sua relação no metabolismo do colesterol (Xie *et al.*, 2014) e a deficiência de Mn reduziu os hormônios reprodutivos em galinhas poedeiras (Yang, 2008).

A maior altura do epitélio do magno torna-se importante para um órgão por realizar movimentos peristálticos fornecendo maior resistência e proteção as glândulas tubulares do magno (Junqueira; Carneiro, 2008). Além disso, um epitélio mais alto eleva a capacidade da produção de secreção que vai melhorar a lubrificação durante o processo de formação do ovo, e na composição do mesmo, devido a adicionar mucina, especificamente a ovomucina (responsável pela viscosidade do albúmen), uma glicoproteína ácida, produzida pelas células caliciformes do magno (García, 2010).

González-Morán (2016) observou que o magno de poedeiras mais velhas, as dobras da mucosa são menos volumosas e tendem a se complexar com as dobras secundárias curtas e as glândulas tubulares foram reduzindo de tamanho e sem produtos de secreção, e atribui a causa pela atrofia do oviduto a redução da progesterona.

12 RELAÇÃO DOS MINERAIS COM O TECIDO ÓSSEO

A avaliação óssea é uma variável de grande potencial, pois permite investigar a qualidade óssea das aves oferecendo vantagens potenciais no apoia à pesquisa resultando em diversas aplicações (nutricional, econômica, bem-estar animal e produção avícola).

De acordo com a literatura são inúmeras as metodologias para avaliar o estado ósseo da poedeiras (incineração óssea, técnicas densitométricas, testes mecânicos, avaliação historfometrica são as mais usuais), pois através da condição óssea da galinha é possível desenvolver estudos para melhor compreensão do metabolismo ósseo e direcionar soluções para se ter aumento de produtividade, melhor bem-estar animal e também nortear questões econômicas. Segundo Kim *et al.* (2012) diferente de outras espécies, a galinha tem uma ligação direta com a produção e qualidade da casca de ovos.

Uma das características atribuída a uma boa poedeira é a qualidade óssea (osso medular). O osso medular é formado quando as frangas estão se tornando sexualmente

ISSN: 1696-8352

maduras, através do estrogênio e andrógeno (Fischer; Schraer, 1982). É uma região altamente calcificada com estruturas lamelares irregulares (Yoshiko *et al.*, 1987) com elevada atividade de osteoblastos e osteoclastos (Kim *et al.*, 2007). Logo, a quantidade e atividade dos osteoclastos são os responsáveis pelo fornecimento de cálcio para a formação da casca do ovo a partir do osso medular.

Segundo Fleming (2006) a atividade dos osteoclastos é bastante utilizada para avaliar o metabolismo do cálcio de galinhas poedeiras. Durante a formação da casca do ovo, o osso chega a contribuir com até 40% do cálcio que ela necessita (Buss; Guyer,1984). Em geral, a modulação das atividades dos osteoclastos é principalmente regulada por ambos os hormônios da paratireóide e hormônios reguladores do cálcio da calcitonina (Kim *et al.*, 2007).

Em galinhas produtoras de casca de ovo mole, os osteoclastos do osso medular carecem de bordas onduladas, e não fornecem o cálcio para a formação da casca do ovo. O peso, a porcentagem e a espessura de casca possuem correlação negativa com o peso do osso seco e peso de cinzas (Kim *et al.*, 2012). Pereira, (2018) ao utilizadas diferentes fontes e níveis de suplementação do Zn, Cu e Mn verificaram que a fonte orgânica apresentou tíbias mais pesada, mas não foi observado nenhuma influência das fontes ou níveis sobre o comprimento, índice de Seedor, resistência ou mudança significativa na concentração do Ca, P, Zn, Cu e Mn das tíbias das poedeiras.

A deficiência de zinco afeta negativamente o metabolismo esquelético em galinhas jovens (Wang *et al.*, 2002), pois conforme Bertechini (2014), nas aves o zinco é acumulado principalmente nos ossos, pois regula a cristalização da hidroxiapatia óssea; ativa a apoptose e o crescimento da placa dos condrócitos; atua na transcrição de genes envolvidos com a ossificação; ainda é componente da fosfatase alcalina e colagenase.

13 RELAÇÃO DOS MINERAIS COM O IMPACTO AMBIENTAL

A produção de aves (frango ou poedeira) é diretamente correlacionada com problemas de impacto ambiental, em virtude da carga mineral presente em suas excretas. Em virtude disso estratégias nutricionais (substituição de proteína bruta por proteína ideal;

ISSN: 1696-8352

utilização de fitase; minerais orgânicos) vem sendo desenvolvidas ao longo dos anos para diminuir a excreção mineral e manter o desempenho das aves sem onerar o custo da ração.

O desenvolvimento do conhecimento da nutrição avícola e a biotecnologia moderna proporcionam novas abordagens nutricionais para atender de perto a necessidade das aves em todas as suas fases de desenvolvimento, o que consequentemente contribui para reduzir a excreção nutricional e manter o custo da ração mais baixo (Godfray *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2017).

Conforme Sims *et al.* (2005), a produção de frango e de ovos geram um excesso de nitrogênio e fósforo nas excretas que estão em cerca de 82% e 64%. A composição da ração e a eficiência da conversão alimentar influenciam na quantidade do conteúdo de nutrientes presente nas excretas, por isso reduzir a densidade dos nutrientes na ração é uma forma de controlar a poluição e de economizar com recursos alimentares (Wang *et al.*, 2017).

De acordo com Świątkiewicz *et al.* (2015), áreas com intensa atividade avícola e com altas concentrações de minerais nos excrementos afetam o solo e pode resultar em contaminação dos lençóis freáticos. O eventual acúmulo de níveis excessivos de zinco e cobre pode ocorrer em solos que receberam aplicações repetidas de adubo/excretas de aves e suínos. Mohanna e Nys (1999) ao utilizarem fonte orgânica de Zn não encontraram evidências de que a fonte promove diminuição na eliminação de zinco nas excretas, quando comparada com a fonte inorgânica de zinco.

Segundo Kiefer (2005), existem muitos fatores que podem modificar a absorção de zinco, e que podem ser considerados como ativadores ou inibidores deste processo, portanto, o zinco é pouco absorvido, sendo excretado em grande proporção pelas fezes. Pereira (2018), utilizando diferentes fontes de Cu, encontraram diferença significativa do mineral Cu nas excretas, onde as aves que consumiram fonte orgânica excretaram maior quantidade de cobre quando comparada as aves que consumiram fontes de Cu na forma inorgânica.

Buscando respostas para reduzir o impacto ambiental e manter o desempenho e a qualidade dos ovos, Li *et al.* (2018) avaliaram os efeitos da redução da suplementação de Mn-Met sobre as dietas de poedeiras com 53 semanas de idade sobre a qualidade interna

ISSN: 1696-8352

e externa dos ovos. Os resultados revelaram que a menor suplementação dietética de Mn-Met (20mg/kg) pode substituir o Mn inorgânico, sem causar dados a desempenho, qualidade dos ovos e meio ambiente.

14 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a pesquisa, pode-se evidenciar que o papel do zinco, cobre e manganês na nutrição de poedeiras comerciais é fundamental para entender como a suplementação desses microminerais afeta o desempenho produtivo e a qualidade dos ovos. Os níveis adequados de suplementação desses minerais não apenas melhoram a qualidade da casca dos ovos, mas também promovem a saúde óssea das aves, refletindo diretamente na eficiência e na sustentabilidade da produção avícola.

Os efeitos positivos das diferentes fontes e níveis de suplementação de microminerais ressaltam a importância de considerar tanto a biodisponibilidade quanto as interações entre estes nutrientes na formulação das dietas. A pesquisa demonstrou que a deficiente ou excessiva suplementação pode resultar em impactos adversos, evidenciando a necessidade de um manejo nutricional equilibrado.

Além disso, os resultados sobre a histologia dos sistemas digestório e reprodutor indicam que a presença adequada de zinco, cobre e manganês é essencial para a manutenção das funções metabólicas e reprodutivas das poedeiras. Esse conhecimento permite que os produtores adotem estratégias nutricionais mais precisas e adaptativas, promovendo não apenas a saúde das aves, mas também garantindo a qualidade dos produtos finais para os consumidores.

A análise reforça a necessidade de contínuas investigações sobre a suplementação de microminerais na avicultura, buscando não apenas otimizar os níveis de inclusão, mas também compreender melhor a biodisponibilidade e os mecanismos de ação destes nutrientes. Essas considerações alinham-se perfeitamente ao objetivo deste artigo, que busca destacar a importância da nutrição mineral para o desempenho e bem-estar das poedeiras comerciais.

ISSN: 1696-8352

REFERÊNCIAS

AAFCO. Association of American Feed Control Officials. 2000.

ABD EL-HACK, M. E. A. *et al.* Effects of dietary supplementation of zinc oxide and zinc methionine on layer performance, egg quality, and blood serum indices. **Biological Trace Element Research**, v. 184, n. 2, p. 456-462, 2018.

AGAPITO, G. Hidroxi-minerais: uma nova abordagem para o uso de minerais em todas as espécies. **O Presente Rural**, n. 137, p. 72-73, 2016.

AKSU, D. S.; AKSU, T.; OZSOY, B. The effects of lower supplementation levels of organically complexed minerals (zinc, copper and manganese) versus inorganic forms on hematological and biochemical parameters in broilers. **Kafkas Univ. Vet. Fak. Derg.**, v. 16, p. 553-559, 2010.

ANDRIGUETTO, J. M. *et al.* **Nutrição Animal**. 4. ed. v. 1. São Paulo: Nobel, 2006.

ARAÚJO, J. A. *et al.* Fontes de minerais para poedeiras. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 2, n. 3, p. 53-60, 2008.

ARIAS, V. J.; KOUTSOS, E. A. Effects of copper source and level on intestinal physiology and growth of broiler chickens. **Poultry Science**, v. 85, p. 999–1007, 2006.

ARREDONDO, M.; NÚÑEZ, M. T. Iron and copper metabolism. **Molecular Aspects of Medicine**, v. 26, n. 4-5, p. 313-327, 2005.

ASHMEAD, H. D. Comparative intestinal absorption and subsequent metabolism of metal amino acid chelates and inorganic salts. p. 47-75. In: ASHMEAD, H. D. (ed.). **The Roles of Amino Acid Chelates in Animal Nutrition**. Park Ridge, NJ: Noyes Publ., 1993.

BARBOSA, K. B. F. *et al.* Relationship of oxidized low density lipoprotein with lipid profile and oxidative stress markers in healthy young adults: a translational study. **Lipids in Health and Disease**, n. 10, v. 61, 2011.

BERTECHINI, A. G. **Nutrição de Monogástrico**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2014.

BERTECHINI, A. G. **Nutrição de Monogástricos** [trabalho de conclusão de curso]. Brasília: Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior, 1998.

BORUTA, A. *et al.* Organic minerals (Bioplex) as total replacement of inorganic sources for layers - effect on productivity. In: **SIMPÓSIO ANNUAL DA ALLTECH**, Lexington, 2007. **Poster**. Lexington, KY, 2007.

ISSN: 1696-8352

BU, Y. *et al.* Cloning and sequence analysis of manganese-containing superoxide dismutase (MnSOD) cDNA of chickens. **Chinese Journal of Biochemistry and Molecular Biology**, n. 17, p. 463-467, 2001.

BUSS, E. G.; GUYER, R. B. Bone parameters of thick and thin eggshell lines of chickens. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 78, p. 449-452, 1984.

BUTZEN, P.; ROOT, E.; STARCHER, B. Zinc secretion in the oviduct of the Coturnix quail. **Biological Trace Element Research**, v. 8, n. 4, p. 283-300, 1985.

CARVALHO, L. S. S. Effect of the inclusion of organic copper, manganese, and zinc in the diet of layers on mineral excretion, egg production, and eggshell quality. **Brazilian Journal of Poultry Science**, p. 87-92, 2015.

COHEN, J.; STEWARD, F. A. Hydroxy minerals - the newest development in mineral nutrition. **AFMA Matrix**, v. 23, n. 1, p. 45-49, 2014.

EWING, W. N.; CHARLTON, S. J. **The Minerals Directory – Your Easy to Use Guide on Minerals in Animal Nutrition**. 2nd ed. Context, 2007.

FASSANI, E. J. *et al.* Manganês na nutrição de poedeiras no segundo ciclo de produção. **Ciência Agrotécnica**, v. 24, n. 2, p. 468-478, 2000.

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. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 22, p. 80-91, 2013.

FIGUEIREDO JUNIOR, J. P. Níveis de minerais orgânicos na dieta de poedeiras semipesadas. 2010, 42 f., Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2010.

FISHER, L. W.; SHRAER, H. Keratan sulfate proteoglycan isolated from the estrogen-induced medullary bone in Japanese quail. **Comparative Biochemistry and Physiology B**, v. 72, n. 2, p. 227–232, 1982.

FLEMING, R. H. *et al.* Relationships between genetic, environmental and nutritional factors influencing osteoporosis in laying hens. **British Poultry Science**, v. 47, p. 742-755, 2006.

GARCÍA, J. La Calidad del huevo. In: LLOBET, J. A.; COS, J. I.; LAJUSTICIA, A. C.; CALVET, S.; CAMBRA-LÓPEZ, M.; ESTELLÉS, F. **Producción del Huevos**. Barcelona, Espanha: Real Escuela de Avicultura, 2ª ed., p. 381-403, 2010.

GEORGIEVSKII, V. I. **Mineral Nutrition of Animals**. London: Butterworths, 1982.

ISSN: 1696-8352

GODFRAY, H. C. J. *et al.* Food security: the challenge of feeding 9 billion people. **Science**, v. 327, p. 812-818, 2010.

GOFF, J. P. Invited review: Mineral absorption mechanisms, mineral interactions that affect acid–base and antioxidant status, and diet considerations to improve mineral status. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 4, p. 2763-2813, 2018.

GONZÁLEZ-MORÁN, M. G. Changes in progesterone receptor isoforms expression and in the morphology of the oviduct magnum of mature laying and aged nonlaying hens. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 478, n. 2, p. 999-1005, 2016.

GUNTER, T. E., et al. Speciation of manganese in cells and mitochondria: A search for the proximal cause of manganese neurotoxicity. **NeuroToxicology**. v. 27, p. 765-776, 2006.

HAFEEZ, A. **Effect of different feed treatment strategies on apparent mineral digestibility and retention in broilers and layers and egg quality in laying hens**. (Doctoral dissertation), Freie Universität Berlin, 2015.

HAMBRIDGE, K. M.; CASEY, C. E.; KREBS, N. F. Zinc. In: MERTZ, W. (Ed.). **Trace Elements in Human and Animal Nutrition**. New York: Academic, 1986. p. 1–138.

HARTMAN, S. J. Implications of trace mineral supplementation strategies to overcome the effects of high antagonist diets in feedlot cattle. 2017.

HASSAN, S.; HASSAN, F.; REHMAN, M. Nano-particles of trace minerals in poultry nutrition: Potential applications and future prospects. **Biological Trace Element Research**, v. 195, n. 2, p. 591-612, 2020.

HENRY, P. R.; MILES, R. D. Interactions among the trace minerals. **Ciência Animal Brasileira**, v. 1, n. 2, p. 95-106, jul./dez. 2000.

JUNQUEIRA, L. C. U.; CARNEIRO, J. **Histologia Básica: Texto e Atlas**. 11. ed. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan, 2008.

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

KIM, W. K. *et al.* Molt performance and bone density of cortical, medullary, and cancellous bone in laying hens during feed restriction or alfalfa-based feed molt. **Poultry Science**, v. 86, p. 1821-1830, 2007.

KIM, W. K. *et al.* Conceitos e métodos para a compreensão do metabolismo ósseo em galinhas poedeiras. **World Poultry Science Journal**, v. 68, n. 1, p. 71-82, 2012.

ISSN: 1696-8352

KLEYN, R. **Chicken Nutrition: A Guide for Nutritionists and Poultry Professionals**. England: Context, 2013.

KOURY, J. C.; DONANGELO, C. M. Zinco, estresse oxidativo e atividade física. **Revista de Nutrição**, v. 16, n. 4, p. 433-441, 2003.

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

LI, L. L. *et al.* Effects of dietary Mn-methionine supplementation on the egg quality of laying hens. **Poultry Science**, v. 97, n. 1, p. 247-254, jan. 2018.

LI, L. L. *et al.* Effects of dietary Zn-methionine supplementation on the laying performance, egg quality, antioxidant capacity, and serum parameters of laying hens. **Poultry Science**, v. 98, n. 2, p. 923-931, fev. 2019.

LU, L. *et al.* Effect of dietary supplementation with copper sulfate or tribasic copper chloride on the growth performance, liver copper concentrations of broilers fed in floor pens, and stabilities of vitamin E and phytase in feeds. **Biological Trace Element Research**, v. 138, n. 1-3, p. 181-189, 2010.

MACARI, M. Fisiologia do sistema digestivo das aves (II). **Aves e Ovos**, São Paulo, v. 15, n. 10, p. 2-20, 1999.

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, p. 344-348, 2010.

MAIORKA, A. *et al.* Influência da suplementação de glutamina sobre o desempenho e o desenvolvimento de vilos e criptas do intestino delgado de frangos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 52, n. 5, p. 487-490, 2000.

McDOWELL, L. R. **Minerals in Animal and Human Nutrition**. 2. ed. Netherlands: Elsevier Science, 2003. 644 p.

McDOWELL, L. R. **Minerals in Animal and Human Nutrition**. San Diego, USA: Academic Press, 1992.

MILES, R. *et al.* The effect of dietary supplementation with copper sulfate or tribasic copper chloride on broiler performance, relative copper bioavailability, and dietary prooxidant activity. **Poultry Science**, v. 77, p. 416-425, 1998.

MWANGI, S. J. *et al.* Effect of zinc imprinting and replacing inorganic zinc with organic zinc on early performance of broiler chicks. **Poultry Science**, v. 96, p. 861-868, 2017.

ISSN: 1696-8352

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.

NAZ, S. *et al.* The activity and use of zinc in poultry diets. **World's Poultry Science Journal**, v. 72, n. 1, p. 159-167, 2016.

NOROUZIAN, H. *et al.* The effects of post-hatch feeding with betaine on the intestinal development of broiler chickens. **Poultry Science**, v. 20, n. 3, p. 403-412, 2018.

NUNES, I. J. **Nutrição Animal Básica: Minerais**. v. 2, p. 153-221, 1998.

NYS, Y. *et al.* Adapting trace mineral nutrition of birds for optimising the environment and poultry product quality. **World's Poultry Science Journal**, v. 74, n. 2, p. 225-238, 2018.

NYS, Y. *et al.* Avian eggshell mineralization: biochemical and functional characterization of matrix proteins. **Comptes Rendus Palevol**, v. 3, n. 6-7, p. 549-562, 2004.

NYS, Y.; REVY, P. S.; JONDREVILLE, C. Zinc, cuivre et manganèse en aviculture: rôle, disponibilité et risque pour l'environnement. In: **Journées de la Recherche Avicole**, Tours. Anais… Tours, 2003.

OLIVEIRA, M. D. *et al.* Desempenho de frangos de corte recebendo dietas com diferentes fontes e níveis de cobre. In: **SIAVS – International Poultry and Pork Show**, São Paulo – SP, p. 167-169, 2019. Disponível em: https://www.siavs.com.br/wp-content/uploads/2019/09/anais_siavs2019.pdf. Acesso em: 12 jan. 2024.

OLUKOSI, O. A.; VAN KUIJK, S. J. A.; HAN, Y. Sulfate and hydroxychloride trace minerals in poultry diets – comparative effects on egg production and quality in laying hens, and growth performance and oxidative stress response in broilers. **Poultry Science**, v. 98, n. 10, p. 4961-4971, 2019.

PAIK, I. Application of chelated minerals in animal production. **Asian Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 14, n. SPI, p. 191-198, 2001.

PANG, Y.; APPLEGATE, T. J. Efeitos da suplementação dietética com cobre e fonte de cobre no pH da digesta, cálcio, zinco e tamanho do complexo de cobre no trato gastrointestinal de frangos de corte. **Poultry Science**, v. 86, n. 3, p. 531-537, 2007.

PELICIA, K. *et al.* Calcium and available phosphorus levels for laying hens in second production cycle. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 11, n. 1, p. 39-49, 2009.

PEREIRA, C. G. **Poedeiras Semipesadas Suplementadas com Minerais Amino Complexados**. 2018. 55 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Recife, 2018.

ISSN: 1696-8352

POWELL, J. J. *et al.* Mechanisms of gastrointestinal absorption: dietary minerals and the influence of beverage ingestion. **Food Chemistry**, v. 51, n. 4, p. 381-388, 1994.

PRASAD, C. S. *et al.* Trace elements and ovarian hormonal levels during different reproductive conditions in crossbred cattle. **Indian Journal of Dairy Science**, v. 42, p. 489-492, 1989.

RAJESWARI, S.; SWAMINATHAN, S. Role of copper in health and diseases. **J. Shan-xi Agric. Univ.**, n. 39, p. 239-242, 2014.

REN, P. *et al.* Interactive effects of zinc and copper sources and phytase on growth performance, mineral digestibility, bone mineral concentrations, oxidative status, and gut morphology in nursery pigs. **Translational Animal Science**, v. 4, n. 2, p. 783-798, 2020.

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.

RIJSSELAERE, T.; BRUNEEL, B. Minerales traza en la nutrición de gallinas reproductoras y de postura: una actualización. In: **LPN Congress**, Outubro, 2018, Miami. Disponível em: https://lpncongress.com/wp-content/uploads/2018/10/minerales-traza-en-la-nutricion-de-gallinas-reproductoras-y-de-postura-una-actualizacion-tom-rijsselaere-brecht-bruneel.pdf. Acesso em: 21 jan. 2024.

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. 2016. Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College (Tese de Mestrado em Ciências), 52 p. Disponível em: https://digitalcommons.lsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2423&context=gradschool_theses. Acesso em: 21 jan. 2024.

RUTZ, F.; MURPHY, R. Minerais orgânicos para aves e suínos. In: **Congresso Internacional sobre Uso da Levedura na Alimentação Animal**, 1., 2009, Campinas. Anais... Campinas: CBNA, 2009. p. 21-36.

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

SALEH, A. A. *et al.* Impact of dietary organic mineral supplementation on reproductive performance, egg quality characteristics, lipid oxidation, ovarian follicular development, and immune response in laying hens under high ambient temperature. **Biological Trace Element Research**, p. 1-9, 2019.

SCHEIDELER, S. E. Trace mineral balance in poultry. **Proceedings Midwest Poultry Federation Convention**, 2008, St. Paul, Minnesota, USA.

ISSN: 1696-8352

SCRUTTON, M. C.; GRIMINGER, P.; WALLACE, J. C. Pyruvate carboxylase: bound metal content of the vertebrate liver enzyme as a function of diet and species. **Journal of Biological Chemistry**, Baltimore, v. 247, n. 10, p. 3305– 3313, 1972.

SHARP, P. The molecular basis of copper and iron interactions. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 63, n. 4, p. 563-569, 2004.

SILVA, J. H. V.; PASCOAL, L. A. F. Função e disponibilidade dos minerais. p. 129-141, 2014. In: SAKOMURA, N. K. et al. **Nutrição de não ruminantes**. Jaboticabal: Funep, 2014. 678 p.

SIMS, J. T. *et al.* Nutrient management for intensive animal agriculture: policies and practices for sustainability. **Soil Use Manage**, v. 21, p. 141-151, 2005.

SINGH, A. K.; GHOSH, T. K.; HALDAR, S. Effects of methionine chelate- or yeast proteinate-based supplement of copper, iron, manganese, and zinc on broiler growth performance, their distribution in the tibia and excretion into the environment. **Biol Trace Elem Res**, p. 164-253, 2015.

SOETAN, K. O.; OLAIYA, C. O.; OYEWOLE, O. E. The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants: A review. **African Journal of Food Science**, v. 4, n. 5, p. 200-222, 2010.

SOROSH, Z. *et al.* Dietary zinc supplementation and the performance and behaviour of caged laying hens. **Animal Production Science**, v. 59, n. 2, p. 331-337, 2019.

SPRING, P. Total replacement technology with organic minerals for laying hens. **International Poultry Production**, v. 20, n. 7, p. 21-22, 2013.

STAHL, J. L.; GREGER, J. L.; COOK, M. E. Zinc, copper, and iron utilization by chicks fed various concentrations of zinc. **British Poultry Science**, v. 30, p. 123-134, 1989.

STEFANELLO, C. *et al.* Productive performance, eggshell quality, and eggshell ultrastructure of laying hens fed diets supplemented with organic trace minerals. **Poultry Science**, v. 93, n. 1, p. 104-113, 2014.

STOREY, M. L.; GREGER, J. L. Iron, zinc and copper interactions: chronic versus acute responses of rats. **The Journal of Nutrition**, v. 117, n. 8, p. 1434-1442, 1987.

SURAI, P. F. Minerals and antioxidants. p. 147-177. **Re-defining mineral nutrition**, Nottingham University Press: England, 2005.

ŚWIĄTKIEWICZ, S. *et al.* Dietary factors improving eggshell quality: an updated review with special emphasis on microelements and feed additives. **World's Poultry Science Journal**, v. 71, n. 1, p. 83-94, 2015.

ISSN: 1696-8352

ŚWIĄTKIEWICZ, S.; KORELESKI, J. Eggshell quality in laying hens fed diets supplemented with different levels of zinc and manganese. **Pol J Food Nutr Sci**, v. 57, n. 4, p. 551-554, 2007.

SWIATKIEWICZ, S.; KORELESKI, J. The effect of zinc and manganese source in the diet for laying hens on eggshell and bones quality. **Veterinarni Medicina**, v.53, n.10, p.555-563, 2008.

TAPIERO, H.; TEW, K. D. Trace elements in human physiology and pathology: zinc and metallothioneins. **Biomed. Pharmacother.**, n. 57, p. 399-411, 2003.

UNDERWOOD, E. J. **The mineral nutrition of livestock**. 3rd ed. New York: Cabi, 1999. 614 p.

UNI, Z. Functional development of the small intestine in domestic birds: cellular and molecular aspects. **Poultry and Avian Biology Review**, Chicago, v. 10, n. 3, p. 167-179, 1999.

VIEIRA, S. L. Chelated minerals for poultry. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 10, n. 2, p. 73-79, 2008.

WANG, H. *et al.* Copper and lysine amino acid density responses in commercial broilers. **J. App. Poult. Res.**, p. 959, 2014.

WANG, J. *et al.* Nutritional modulation of health, egg quality and environmental pollution of the layers. **Animal Nutrition**, v. 3, n. 2, p. 91-96, 2017.

WANG, X.; FOSMIRE, G. J.; GAY, C. V.; LEACH, R. M. Short-term zinc deficiency inhibits chondrocyte proliferation and induces cell apoptosis in the epiphyseal growth plate of young chickens. **Journal of Nutrition**, v. 132, n. 4, p. 665-673, 2002.

XIAO, J. F. *et al.* Manganese supplementation enhances the synthesis of glycosaminoglycan in eggshell membrane: a strategy to improve eggshell quality in laying hens. **Poult Sci.**, v. 93, n. 2, p. 380-388, 2014.

XIE, J. J. *et al.* Effects of inorganic and organic manganese supplementation on gonadotropin-releasing hormone-I and follicle-stimulating hormone expression and reproductive performance of broiler breeder hens. **Poult. Sci.**, v. 93, p. 959-969, 2014.

YANG, Y. Adjustment of nutrition on the reproduction of poultry. **Int. J. Curr. Sci.**, n. 10, p. 94-107, 2008.

YILDIZ, A. Ö.; CUFADAR, Y.; OLGUN, O. Effects of dietary organic and inorganic manganese supplementation on performance, egg quality and bone mineralisation in laying hens. **Revue de Médecine Vétérinaire**, v. 162, p. 482-488, 2011.

ISSN: 1696-8352

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. **Veteriner Fakultesi Dergisi**, v. 21, p. 155-162, 2015.

YOSHIKO, Y.; KUSUHARA, S.; ISHIDA, K. Histological studies of the medullary bone of hens producing soft-shelled eggs. **Japanese Journal of Zootechnical Science**, v. 58, p. 123-130, 1987.

ZAMANI, A.; RAHMANI, H. R.; POURREZA, J. Supplementation of a corn-soybean meal diet with manganese and zinc improves eggshell quality in laying hens. **Pak J Biol Sci.**, v. 8, n. 9, p. 1311–1317, 2005.