

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de 19/06/2022.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
CÂMPUS DE BOTUCATU

EFEITOS DE DIFERENTES FONTES DE COBRE E ZINCO NA ALIMENTAÇÃO DE
FRANGOS DE CORTE SOBRE O DESEMPENHO, CARACTERÍSTICAS DE CARÇAÇA
E QUALIDADE ÓSSEA

TATIANE SOUZA DOS SANTOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-
graduação em Zootecnia como parte
das exigências para obtenção do título
de Doutor em Zootecnia

BOTUCATU - SP

Julho – 2020

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
CÂMPUS DE BOTUCATU

EFEITOS DE DIFERENTES FONTES DE COBRE E ZINCO NA ALIMENTAÇÃO DE
FRANGOS DE CORTE SOBRE O DESEMPENHO, CARACTERÍSTICAS DE CARÇAÇA
E QUALIDADE ÓSSEA

TATIANE SOUZA DOS SANTOS
ZOOTECNISTA

Orientador: Prof. Dr. José Roberto Sartori

Tese apresentada ao Programa de Pós-
graduação em Zootecnia como parte
das exigências para obtenção do título
de Doutor em Zootecnia

BOTUCATU - SP

Julho - 2020

<p>S237e</p>	<p>Santos, Tatiane Souza dos Efeitos de diferentes fontes de cobre e zinco na alimentação de frangos de corte sobre o desempenho, características de carcaça e qualidade óssea / Tatiane Souza dos Santos. -- Botucatu, 2020 121 p. : il., tabs. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu Orientador: José Roberto Sartori 1. biodisponibilidade. 2. cobre. 3. frangos de corte. 4. hidroximineral. 5. zinco. I. Título.</p>
--------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Tatiane Souza dos Santos - nascida em 19 de maio de 1991, na cidade de Tatuí/SP, filha de José Carlos dos Santos e Marta de Souza dos Santos, ingressou no curso de Zootecnia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Unesp - Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Câmpus de Dracena, em julho de 2009 e graduou-se em julho de 2014. Durante a graduação foi bolsista pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processos: 2011/18449-9 e 2013/08637-8, e realizou estágio de conclusão de curso na Universidade Estadual da Carolina do Norte (EUA), onde recebeu a Bolsa Estágio de Pesquisa no Exterior (BEPE - FAPESP), processo: 2013/21763-2. Em agosto de 2014 iniciou o curso de Mestrado em Zootecnia da Unesp - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia - Câmpus de Botucatu, onde foi bolsista pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo: 2014/27175-8, e graduou-se em junho de 2016. Em agosto de 2016 iniciou o curso de Doutorado em Zootecnia da Unesp - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia - Câmpus de Botucatu, onde foi bolsista pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo: 2017/00338-3. Durante o curso de Doutorado realizou intercâmbio na Universidade da Geórgia (EUA) pelo período de seis meses, com auxílio da Bolsa Estágio de Pesquisa no Exterior (BEPE - FAPESP), processo: 2018/09422-9. Durante a graduação e pós-graduação atuou na área de nutrição de frangos de corte.

Dedico esta conquista aos meus pais **José Carlos dos Santos** (*in memoriam*) e **Marta de Souza dos Santos** (*in memoriam*). E mesmo estando em outro plano, vocês nunca deixaram de cuidar dos meus passos. A realização deste sonho me traz a certeza que consegui alcançar um pedacinho daquilo que vocês planejaram para minha vida.

E também dedico à minha “tia-mãe” **Eli Delfino de Souza** a qual assumiu o papel de mãe em um momento tão doloroso. Você é um exemplo de vida, mãe, amiga e pessoa.

Dedicatória

Ao meu orientador **Prof. Dr. José Roberto Sartori** pela excelente orientação durante a minha formação nos cursos de Mestrado e Doutorado. Obrigada pelos ensinamentos, oportunidades, e principalmente por confiar no meu trabalho.

À **Dra. Juliana Célia Denadai** a qual sempre me acompanhou e que muito me ajudou na realização deste trabalho. Agradeço pela sua amizade e ensinamentos.

Agradecimento especial

Agradecimentos

À **Deus**, por nunca deixar de guiar os meus passos.

Aos meus tios, **Eli Delfino de Souza** e **Joaquim Amado Quevedo**, os quais foram fundamentais para que eu pudesse chegar até aqui.

Aos meus irmãos **Fábio** e **Juliano**, minha sobrinha **Júlia** e minha cunhada **Caroline**, por todo apoio e por acreditarem no meu sonho.

Ao **Leone**, pelo amor, companheirismo, e por toda força na finalização do meu Doutorado. Obrigada por tornar essa caminhada mais leve.

Ao **Programa de Pós-graduação em Zootecnia**, em especial a **Claúdia**, **Seila** e **Ellen** por sempre estarem prontas a nos ajudar.

À **Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”** câmpus de Dracena e câmpus de Botucatu.

À empresa **Trouw Nutrition**, pela parceria e financiamento da pesquisa.

À **Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo** pela concessão da bolsa de Doutorado, processo: 2017/00338-2, e pela concessão da Bolsa Estágio de Pesquisa no exterior, processo: 2018/09422-9.

O presente trabalho foi realizado com apoio da **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES)** - Código de Financiamento 001.

Aos amigos e integrantes da equipe do LabAves, entre novos e antigos (**Mônica, Mayara Rodrigues, Jú Denadai, Jú Rezende, Paola, Natani, Amanda, Fabiana, Nathália, Mariana**); (**Armando, Lívia, Smigo, Léo, Netto, Dani, Calvina, Robert, Fernanda, Jú Batistioli, Priscila, Pequi, Cálcio, Érica, Giovana e Andrey**), e a todos estagiários que muito nos ajudaram. Além de companheiros de trabalho, vocês se tornaram grandes amigos. Sou muita grata por todo apoio que sempre me deram, com certeza essa conquista também é mérito de vocês!

Ao **Wanderley Thiago da Silva**, Técnico do LabAves, que muito contribuiu para a execução deste trabalho, além de todo apoio para nossa equipe.

Aos funcionários da Fábrica de Ração da Unesp de Botucatu, **Adriano, Adilson, Alexandre e Sandro**.

À **Profa. Dra. Valquíria Cação Cruz-Polycarpo** Unesp-Dracena, pelos ensinamentos, oportunidades e principalmente pelo direcionamento na minha trajetória acadêmica. Obrigada pela excelente orientação durante a minha IC.

À **Profa. Dra. Maria Márcia Pereira Sartori** do Dpto. de Produção e Melhoramento Vegetal-FCA, pela sua grande contribuição neste trabalho com a realização das análises estatísticas.

Ao **Prof. Dr. Luiz Carlos Vulcano** do Dpto. de Reprodução Animal e Radiologia Veterinária, pela grande colaboração com a análise de densitometria óssea.

Ao **Prof. Dr. Adriano Wagner Ballarin** do Dpto. de Engenharia Agronômica –FCA, por ter contribuído com o uso de seu laboratório e ao **Sr. Ailton** por ter me auxiliado nas análises de resistência óssea.

Ao **Prof. Dr. Roberto de Oliveira Roça** por ceder seu laboratório para realização das análises de qualidade de carne. Agradeço também **Carolina e Nataly** por toda ajuda.

Ao **Prof. Dr. Paulo Roberto de Lima Meirelles** do Dpto. de Melhoramento e Nutrição Animal–FMVZ por ter contribuído com parte das análises bromatológicas no Laboratório de Bromatologia FMVZ-Botucatu e, especialmente, a **Gisele Setznagl**.

Ao **Prof. Dr. Pedro de Magalhães Padilha** do Dpto. de Química e Bioquímica –IBB, por ter contribuído com a realização das análises de minerais. Agradeço também ao **José** pela paciência e toda ajuda.

À **Profa. Dra. Regina Kiomi Takahira** do Dpto. de Clínica Veterinária-FMVZ e seus orientados, **Vitor e Roberta** pela ajuda com a realização dos hemogramas.

À **Profa. Dra. Maria Cláudia Araripe Sucupira** do Dpto. de Clínica Médica – FMVZ/USP, pela ajuda com a realização da análise enzimática da ceruloplasmina.

Ao **Dr. Woo Kyun Kim** pela orientação durante a realização do Doutorado Sanduíche (Universidade da Geórgia), e toda sua equipe: **Fernanda Castro, Sudhir Yadav, Po-Yun Teng, Sean, Dima, Dorsey e Jinquan**.

À **Karolina Von Zuben Augusto**, pela parceria durante a realização deste trabalho, e principalmente por todo apoio e incentivo na busca de novos desafios.

Aos professores, **José Roberto Sartori, Margarida Maria Barros e Antonio Celso Pezzato** por todas contribuições no Exame Geral de Qualificação.

À banca examinadora da minha defesa de Tese do Doutorado, **Prof. Dr. José Roberto Sartori, Prof. Dr. Antonio Celso Pezzato, Profa. Dra. Valquíria Cação Cruz-Polycarpo, Dra. Carolina Toledo Santos e Dra. Karolina Von Zuben Augusto**.

Às amigas **Viviane, Mariane, Camila, Pâmela e Laura**, por todo carinho e conselhos

À querida **República Karkará** da Unesp-Dracena.

Aos meus companheiros voadores, **Teca, Teco, Pipoca, Pintinha e Piu Piu**.

E a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADA!

Epígrafe

Não fui eu que lhe ordenei?
Seja forte e corajoso!
Não se apavore, nem se desanime, pois o Senhor, o seu Deus,
estará com você por onde você andar".

Josué 1:9

RESUMO GERAL

O experimento foi conduzido para investigar os efeitos da suplementação de cobre e zinco nas dietas de frangos de corte, utilizando duas fontes minerais (hidroximineral ou sulfato) no desempenho, rendimento de carcaça e partes, qualidade de carne, concentração mineral nos tecidos e absorção aparente ileal de cobre e zinco, características do tecido ósseo e pele, e indicadores do status de saúde. O total de 1.792 pintainhos machos de um dia da linhagem Cobb 500 foram distribuídos aleatoriamente em oito tratamentos com oito repetições por tratamento. As fontes de hidroximineral utilizadas foram: dois níveis de hidroxicloreto de Cu (CHC) (baixo e alto), combinados com três níveis de hidroxicloreto de Zn (ZHC) (baixo, médio e alto); e dois tratamentos adicionais contendo sulfato, sendo o sulfato de Cu monohidratado (SCM) (baixo e alto) combinado com alto nível de sulfato de Zn monohidratado (SZM). Os tratamentos foram: 15 mg/kg de SCM + 120 mg/kg de SZM; 150 mg/kg de SCM + 120 mg/kg de SZM; 15 mg/kg de CHC + 80 mg/kg de ZHC; 15 mg/kg de CHC + 100 mg/kg de ZHC; 15 mg/kg de CHC + 120 mg/kg de ZHC; 150 mg/kg de CHC + 80 mg/kg de ZHC; 150 mg/kg de CHC + 100 mg/kg de ZHC; 150 mg/kg de CHC + 120 mg/kg de ZHC. As médias foram submetidas à ANOVA, e quando significativas foram comparadas pelos testes de *Tukey* e *Dunnet* com 5% de significância. Aos 21 dias de idade, frangos alimentados com dietas contendo alto-CHC apresentaram melhores resultados de peso corporal, ganho de peso, conversão alimentar em comparação aos que receberam baixo-CHC. Ao final do período experimental, frangos pertencentes ao grupo alto-CHC combinado com baixo ou médio-ZHC, apresentaram melhor conversão alimentar em comparação aos suplementados com baixo-CHC. Na qualidade de carne, a maior incidência de vermelho no músculo do peito foi observada em frangos suplementados com alto-CHC em comparação aos suplementados com baixo-CHC. A suplementação com nível baixo-ZHC proporcionou maior rendimento de carcaça, resistência de pele, em comparação ao médio ou alto-ZHC. Na qualidade óssea, a densidade mineral óssea da epífise proximal, o teor de cinzas, e o conteúdo mineral da tíbia foram influenciados positivamente com a suplementação de baixo-CHC combinado com med-ZHC em comparação ao alto-CHC. Portanto, nós concluímos que a fonte de hidroximineral apresentou resultados satisfatórios, podendo ser considerada como alternativa para a substituição do sulfato nas dietas de frangos de corte. Além disso, entre os níveis de cobre e zinco suplementados, o nível alto-CHC foi eficiente para os melhores resultados de desempenho, enquanto o nível médio-ZHC demonstrou melhorar o desenvolvimento ósseo, a integridade de pele, e parâmetros de rendimento de carcaça. Sendo assim, sugerimos que a suplementação de cobre e zinco pode ser

utilizada como estratégia nutricional para garantir o crescimento de aves saudáveis e prevenir a incidência de problemas ósseos.

Palavras-chave: biodisponibilidade, cobre, frangos de corte, hidroximineral, zinco

ABSTRACT

The experiment was carried out to investigate the effects of copper and zinc supplementation on broiler diets, using two mineral sources (hydroxym mineral or sulfate) on performance, carcass and parts yield, meat quality, mineral concentration in tissues and apparent ileal absorption of copper and zinc, bone characteristics and skin tissue, and indicators of health status. The total of 1,792 day-old male chicks of the Cobb 500 strain were randomly assigned to eight treatments with eight replicates per treatment. The hydroxym mineral sources used were: two levels of Cu hydroxychloride (CHC) (low and high), combined with three levels of Zn hydroxychloride (ZHC) (low, medium and high); and two additional treatments containing sulfate, with Cu sulfate monohydrate (SCM) (low and high) combined with a high level of Zn sulfate monohydrate (SZM). The treatments were: 15 mg/kg of SCM + 120 mg/kg of SZM; 150 mg/kg SCM + 120 mg/kg SZM; 15 mg/kg of CHC + 80 mg/kg of ZHC; 15 mg/kg of CHC + 100 mg/kg of ZHC; 15 mg/kg of CHC + 120 mg/kg of ZHC; 150 mg/kg of CHC + 80 mg/kg of ZHC; 150 mg/kg of CHC + 100 mg/kg of ZHC; 150 mg/kg of CHC + 120 mg/kg of ZHC. The means were submitted to ANOVA, and when significant, they were compared by *Tukey's* and *Dunnet's* tests with 5% significance. At 21 days of age, chickens fed diets containing high-CHC showed better results for body weight, weight gain, feed conversion as compared to those receiving low-CHC. At the end of the experimental period, broilers in the group high-CHC combined with low or med-ZHC, showed better feed conversion as compared to those supplemented with low-CHC. In meat quality, the highest incidence of red in the breast muscle was observed in broilers supplemented with high-CHC as compared to those supplemented with low-CHC. Supplementation with low-ZHC level provided higher carcass yield and skin strength as compared to med or high-ZHC. In bone quality, bone mineral density of the proximal epiphysis, the ash content, and the mineral content of the tibia were positively influenced with low-CHC supplementation combined with med-ZHC as compared to high-CHC. Therefore, we conclude that the hydroxym mineral source presented satisfactory results, which can be considered as an alternative to replace sulfate in broiler diets. In addition, among supplemented copper and zinc levels, the high-CHC level was effective for the best performance results, while the med-ZHC level was shown to improve bone development, skin integrity, and carcass yield parameters. Therefore, we suggest that copper and zinc supplementation can be used as a nutritional strategy to ensure the growth of healthy birds and prevent the incidence of bone problems.

Keywords: bioavailability, copper, broilers, hydroxym mineral, zinc

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Tipos de ligações Fonte: Adaptado de KVIDERA, 2019.....	21
-------------------------------------------------------------------------	----

LISTA DE TABELAS**CAPÍTULO 2**

Table 1 Levels of supplementation (mg/kg)* of copper and zinc sources for the dietary treatments.	44
Table 2 Ingredient (g/kg) and composition of the experimental diets.	45
Table 3 Analyzed copper and zinc composition (mg/kg) in all experimental diet.	46
Table 4 Growth performance of broilers supplemented with different sources and levels of copper and zinc at 1 to 21 days of age.	51
Table 5 Growth performance of broilers supplemented with different sources and levels of copper and zinc at 1 to 42 days of age.	52
Table 6 Effect of different sources and levels of copper and zinc on parameters of pH, lightness (L*), redness (a*), yellowness (b*), drip loss (DL), cooking loss (CL) and shear force (SF) in chicken breast fillets at 42 days of age.	54
Table 7 Effect of different sources and levels of copper and zinc on parameters of carcass and parts yield of broilers at 42 days of age.	56
Table 8 Mineral concentration (ppm) in plasma and liver of broilers supplemented with different sources and levels of copper and zinc at 42 days of age.	59
Table 9 Activity of superoxide dismutase (SOD, U/ml), glutathione peroxidase (GPx, U/ml) and ceruloplasmin (Cp, U/l) in serum of broilers supplemented with different sources and levels of copper and zinc.	60
Table 10 Apparent ileal absorption of Cu and Zn of broiler at 42 days of age supplemented with different sources and levels of trace minerals.	61

CAPÍTULO 3

Table 1 Levels of supplementation (mg/kg)* of copper and zinc sources for the dietary treatments.....	86
Table 2 Ingredient (g/kg) and composition of the experimental diets.	87
Table 3 Analyzed copper and zinc composition (mg/kg) in all experimental diet.	88
Table 4 Footpad dermatitis incidence (%) in broilers supplemented with different sources and levels of Cu and Zn at 42 days of age.....	93
Table 5 Hock burn incidence (%) in broilers supplemented with different sources and levels of Cu and Zn at 42 days of age.....	94
Table 6 Parameters of strength and elasticity of drumstick skin of broilers supplemented with different sources and levels of Cu and Zn at 42 days of age.	96
Table 7 Hematological parameters of broilers supplemented with different sources and levels of Cu and Zn ¹	98
Table 8 Bone mineral density of proximal epiphysis (PE) and distal epiphysis (DE) of tibia and femur of broilers supplemented with different sources and levels of Cu and Zn....	100
Table 9 Breaking strength, kgf (BS) and bone ash, % (BA) of tibia and femur of broilers supplemented with different sources and levels of Cu and Zn.....	102
Table 10 Mineral concentration of calcium (Ca), phosphorus (P), magnesium (Mg), copper (Cu) and zinc (Zn) in tibia of broilers supplemented with different sources and levels of Cu and Zn.	104
Table 11 Mineral concentration of calcium (Ca), phosphorus (P), magnesium (Mg), copper (Cu) and zinc (Zn) in femur of broilers supplemented with different sources and levels of Cu and Zn.	105

LISTA DE ABREVIATURAS

a*	Redness
b*	Yellowness
BA	Bone ash
BS	Bone strength
BW	Body weight
BWG	Body weight gain
CHC	Copper hydroxychloride
CL	Cooking loss
Cp	Ceruloplasmin
Cr	Cromo/ Chromium
CSM	Copper sulfate monohydrate
Cu	Cobre/ copper
DE	Distal epiphysis
DL	Drip loss
FCR	Feed conversion ratio
EPEF	European production efficiency factor
FI	Feed intake
L*	Lightness
ME	Metabolizable energy
P-value	Probability
PE	Proximal epiphysis
pH	Hydrogenionic potential
ppm	Part per million
SEM	Standard error of the mean
SF	Shear force
SOD	Superoxide dismutase
VB	Viability
ZHC	Zinc hydroxychloride
ZSM	Zinc sulfate monohydrate
Zn	Zinco/ zinc

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	19
Considerações iniciais	20
1. REVISÃO DE LITERATURA	22
1.1. <i>Minerais: definição e importância</i>	22
1.2. <i>Cobre e zinco: metabolismo</i>	25
1.3. <i>Cobre e zinco na saúde e desenvolvimento</i>	27
1.4. <i>Cobre e zinco nos parâmetros de carcaça a saúde óssea</i>	29
1.5. <i>Impacto ambiental gerado pela excreção de minerais</i>	30
2. JUSTIFICATIVA E OBJETIVO	31
REFERÊNCIAS	32
CAPÍTULO 2	39
“A new alternative of trace mineral supplementation on broiler chicken nutrition: copper and zinc hydroxychloride on growth performance, parameters of meat quality and apparent ileal absorption”	39
INTRODUCTION	41
MATERIALS AND METHODS	43
<i>Birds, Diets and Treatments</i>	43
<i>Growth performance</i>	46
<i>Sampling and analytical methods for carcass evaluation and meat quality</i>	46
<i>Chemical Analysis</i>	48
<i>Enzymes activities</i>	49
<i>Statistical Analysis</i>	49
RESULTS	49
<i>Growth Performance</i>	49
<i>Meat quality</i>	53
<i>Carcass evaluation</i>	55
<i>Blood parameters and mineral retention</i>	57
DISCUSSION.....	62
ACKNOWLEDGMENTS	69
REFERENCES	69
CAPÍTULO 3	81

“Effects of copper and zinc supplementation in broiler diets on bone development, reduction of footpad dermatitis, hock burn and skin scratches incidences”	81
INTRODUCTION	83
MATERIALS AND METHODS.....	85
<i>Birds, diets and treatments</i>	85
<i>Footpad dermatitis and hock burn incidence</i>	88
<i>Skin strength</i>	89
<i>Hematological parameters</i>	89
<i>Chemical Analysis</i>	90
<i>Parameters of bone quality</i>	90
<i>Statistical Analysis</i>	92
RESULTS	92
DISCUSSION	106
ACKNOWLEDGMENTS	110
REFERENCES	110
CAPÍTULO 4	117
IMPLICAÇÕES.....	119

CAPÍTULO 1

Considerações iniciais

A avicultura de corte brasileira tem demonstrando amplo crescimento nas últimas décadas, isso porque o número de pesquisas nas áreas de nutrição, genética, manejo, bem-estar e ambiência tem gerado cada vez mais conhecimento de como proporcionar condições ideais para a criação das aves. Em 2015 o Brasil deixou de ocupar a terceira posição na categoria de produção mundial de carne de frango, e passou para segundo lugar, sendo precedido apenas pelos Estados Unidos. No último relatório publicado pela Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2019), o Brasil ocupou a posição de primeiro exportador mundial (4.101 mil toneladas/ano) e segundo produtor mundial de carne de frangos de corte (12.86 mil toneladas/ano), onde o crescimento no setor avícola pode ser confirmado com os respectivos números citados.

Dentro desse contexto, pesquisas relacionadas com a nutrição animal objetivam investigar estratégias nutricionais eficientes para atender as exigências, manter um bom estado de saúde animal, além de reduzir o impacto ambiental gerado pelo sistema de produção intensivo. Pesquisas realizadas na área da nutrição de aves têm indicado que a suplementação de microminerais com níveis acima do recomendado pelos manuais da linhagem tem mostrado diversos benefícios para a saúde e para os índices de desempenho (LEESON, 2009; ABD EL-HACK, 2017). Os minerais são essenciais para diversos processos biológicos, já que desempenham papéis fisiológicos, estruturais, regulatórios e catalíticos (SUTTLE, 2010), onde os microminerais cobre (Cu) e zinco (Zn) têm sido associados com as melhores respostas frente aos desafios no sistema de produção de aves (LEESON, 2009; ABD EL-HACK, 2017).

O Cu teve sua essencialidade descoberta por volta de 1920 quando Hart et al. (1928) observaram que a deficiência deste elemento desencadeou o processo de anemia em ratos. De acordo com Leeson (2009) esse micromineral é essencial como cofator enzimático, constituinte de proteínas no sangue, e como melhorador de desempenho quando suplementado com doses elevadas nas dietas de frangos de corte. O Zn foi descoberto por volta de 1930, e sua essencialidade está associada com diversos processos biológicos, como crescimento e desenvolvimento do tecido ósseo, além de ser cofator de mais de 300 enzimas no metabolismo (COHEN e STEWARD, 2014; ABD EL-HACK, 2017).

As fontes inorgânicas foram as primeiras a serem utilizadas para a suplementação mineral na dieta, sendo utilizadas nas formas de sulfatos, óxidos ou carbonatos. De acordo com Leeson (2009), a fonte mais utilizada para a suplementação de Cu na dieta das aves é o sulfato de cobre pentahidratado; enquanto que para o Zn, o óxido e sulfato monohidratado são as fontes mais utilizadas (LEESON e SUMMERS, 1997). No entanto, embora a suplementação com

níveis acima do recomendado de determinados minerais seja benéfica para o desempenho de frangos de corte, o excesso de mineral eliminado pode ser prejudicial e causar impactos ambientais. Pesti e Bakalli (1998) suplementaram galinhas poedeiras com 250 mg/kg de sulfato de cobre pentahidratado e encontram 940 mg/kg de Cu nas excretas, contra 35 mg/kg de Cu daquelas que receberam 5 mg/kg de Cu. A razão para esse efeito negativo pode ser explicada pelas propriedades químicas das fontes inorgânicas, as quais são formadas por ligações iônicas e que facilmente se dissociam nas primeiras porções do trato gastrintestinal da ave (no papo, por exemplo), possibilitando a formação de quelatos ao longo do trato gastrintestinal entre mineral-mineral ou mineral e outros nutrientes (aminoácidos e proteína), e por fim, prejudicando o processo de absorção (COHEN e STEWARD, 2014).

Em função dos aspectos negativos causados pelo uso das fontes mencionadas anteriormente, estudos realizados na década de 90 desenvolveram outra fonte inorgânica chamada de hidroximineral. Este composto contém ligações covalentes entre o mineral e grupos OH, o que proporciona maior resistência às condições do trato gastrintestinal, em comparação as fontes convencionais como sulfatos, por exemplo (Figura 1). Dessa forma, espera-se que mais mineral possa atingir o local alvo de absorção, sem que ocorram interações negativas (COHEN e STEWARD, 2014).

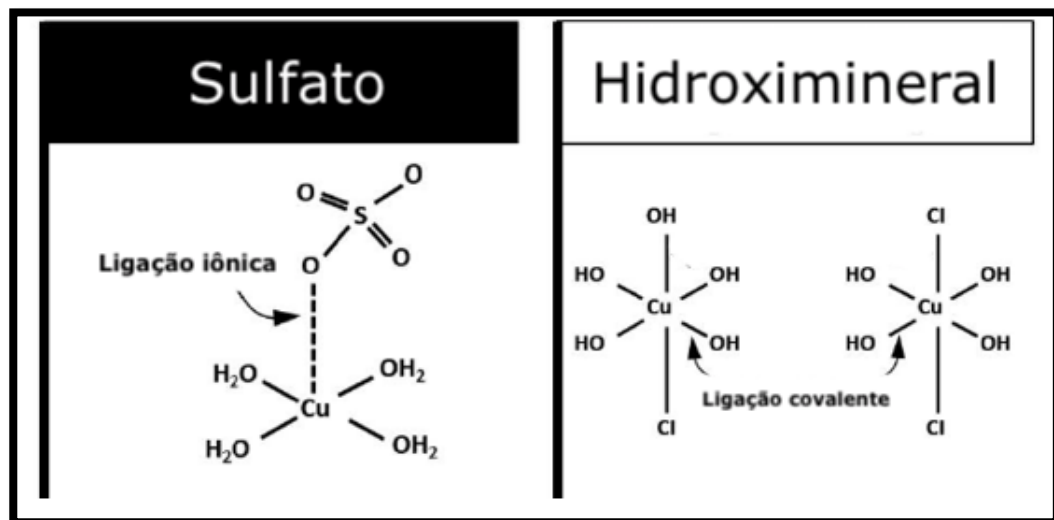


Figura 1 Tipos de ligações
 Fonte: Adaptado de KVIDERA, 2019

Devido a necessidade de se estabelecer níveis ideais para suplementação mineral, e do uso de fontes que causem menor impacto ambiental, novos estudos são necessários para reduzir os questionamentos gerados durante a formulação de dietas para aves. O excesso e a deficiência de um determinado mineral são prejudiciais ao desenvolvimento animal, principalmente pela questão do antagonismo (SUTTLE, 2010). No que diz respeito ao impacto ambiental, o

IMPLICAÇÕES

Atualmente estão disponíveis no mercado diversas opções de fontes minerais para suplementação nas dietas das aves, no entanto, a falta de estabelecimento de níveis de adequados para as diferentes fontes disponíveis, tem gerado questionamentos no momento da formulação de dietas que forneçam os nutrientes necessários para a ave, e que seja capaz de causar menor impacto ambiental.

No presente estudo, alguns dos parâmetros avaliados não foram responsivos ou precisos para mostrar os efeitos do uso de diferentes fontes e níveis de minerais na dieta das aves. Com relação a avaliação da atividade enzimática da ceruloplasmina, era esperado que com o aumento da quantidade suplementada de cobre na dieta (15 vs. 150 mg/kg), a atividade enzimática também apresentasse alguma alteração. No entanto, os resultados obtidos indicaram que mesmo com o aumento de 10 x no nível de suplementação na dieta, a atividade da enzima no soro não foi alterada. As aves por sua vez, apresentam baixa atividade desta enzima, fator que também dificulta a avaliação. Portanto, não se recomenda a avaliação deste parâmetro como resposta às alterações dietéticas de cobre.

Entre os métodos empregados para avaliar os efeitos da suplementação mineral, utilizou-se o método da absorção mineral ileal aparente. Para obtenção de resultados mais condizentes de digestibilidade de minerais, é obrigatório o uso de gaiolas livres de qualquer material que contenha mineral durante o ensaio, evitando interações entre o mineral presente na dieta com o mineral da estrutura das gaiolas. Deste modo, para a avaliação da absorção do cobre e zinco, optamos pelo método da avaliação da absorção mineral ileal aparente, em função da estrutura experimental disponível.

A literatura afirma que a suplementação com níveis elevados de Cu é benéfica para o desempenho das aves devido ao papel bacteriostático que o Cu exerce no intesino, e nossos resultados confirmaram esse efeito após a suplementação com 150 mg/kg. Por outro lado, o elevado nível de Cu parece não ter influenciado os outros parâmetros avaliados. O desenvolvimento ósseo, integridade da pele, e parâmetros de rendimento de carcaça foram beneficiados pela inclusão de Zn. Sendo assim, no momento da escolha suplementação, é ideal levar em consideração a função específica de cada mineral, além da exigência nutricional da ave.