



**ANDRESSA CARLA DE CARVALHO**

**EFEITOS DE NOVA VITAMINA D<sub>3</sub> PARA DIETAS DE  
FRANGOS DE CORTE DE CORTE**

**LAVRAS – MG**

**2020**

**ANDRESSA CARLA DE CARVALHO**

**EFEITOS DE UMA NOVA VITAMINA D<sub>3</sub> PARA DIETAS DE FRANGOS DE  
CORTE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção e Nutrição de Animais Não Ruminantes, para obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Antônio Gilberto Bertechini  
Orientador

**LAVRAS - MG  
2020**

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

Carvalho, Andressa Carla.

Efeitos de uma nova vitamina D<sub>3</sub> para dietas de frangos  
de corte / Andressa Carla de Carvalho. - 2020.

60 p.: il.

Orientador(a): Antonio Gilberto Bertechini.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal  
de Lavras, 2020.

Bibliografia.

1. Avicultura. 2. Vitamina. 3. Cálcio e fósforo. I.  
Bertechini, Antonio Gilberto. II. Título.

O conteúdo desta obra é de responsabilidade do (a) autor (a) e de seu  
orientador (a).

**ANDRESSA CARLA DE CARVALHO**

**EFEITOS DE UMA NOVA VITAMINA D<sub>3</sub> PARA DIETAS DE FRANGOS DE CORTE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção e Nutrição de Animais Não Ruminantes, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 15 de maio de 2020.

Dr. Antonio Gilberto Bertechini

Dra. Michele de Oliveira Mendonça

Dra. Luciana de Paula Naves

UFLA

IF Sudeste/Rio Pomba

UFLA

Prof. Dr. Antonio Gilberto Bertechini  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2020**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me guiar e iluminar durante todo o caminho.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), onde vivi grandes momentos que proporcionaram enriquecimento profissional e pessoal.

À Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

À University of Georgia pela oportunidade do intercâmbio e todo aprendizado adquirido ao longo desses meses.

Ao meu orientador Prof. Dr. Antônio Gilberto Bertechini pela paciência, confiança, dedicação, incentivo e ensinamentos, indispensáveis para o meu crescimento profissional e pessoal.

Aos meu pais, Luíz e Andreíza, pelo apoio e suporte sempre, me incentivando nos momentos em que eu mais precisava.

Ao Diego, por ser meu maior incentivador, inspiração, companheiro e sempre acreditar que eu posso ir mais longe do que eu imagino.

A minha avó Hélia, pelas orações diárias que me fortaleceu nos momentos de dificuldades.

Ao Felipe Dalólio por ter me ajudado de forma única na execução desse projeto, por me fazer crescer profissionalmente e, principalmente, por demonstrar a importância de dedicar aos estudos.

Ao Fábio Tarazona, por ter sido um dos meus pilares para a condução do experimento, pela amizade e por me ensinar um novo idioma. *Muchas gracias por tu amistad!*

Aos meus amigos, Ana Elisa (*in memoriam*), Jéssica, “Murango”, Edwin, Ariane e Diogo pela paciência, amizade, ensinamentos e companheirismo ao longo desses anos.

Ao NECTA, pela oportunidade do crescimento pessoal e profissional, onde fiz amizades que levarei comigo a vida toda.

A todos os professores, funcionários do Departamento de Zootecnia da UFLA e do Centro de Pesquisa e Tecnologia Avícola, em especial ao Márcio e ao Anderson.

Muito obrigada!

*“E você aprende que realmente pode suportar que realmente é forte e que pode ir muito mais longe depois de pensar que não se pode mais.” (William Shakespeare)*

## RESUMO

O experimento foi conduzido objetivando-se avaliar a biodisponibilidade de fontes de vitamina D<sub>3</sub> para frangos de corte, utilizando a 7-OHD<sub>3</sub> como referência e avaliar os efeitos de dietas com níveis crescentes das vitaminas sobre o desempenho e características ósseas das aves e a digestibilidade de cálcio das rações. Foram utilizados 1.040 pintos de um dia, machos Cobb-500, provenientes de incubatório comercial e alojados em 104 gaiolas de metabolismo. Adotou-se um delineamento inteiramente casualizado, no esquema fatorial 3 x 4 + 1 (três fontes de vitamina D com quatro níveis de inclusão e um controle negativo), com 8 repetições. Os fatores em estudo foram as fontes de vitamina D (D<sub>3</sub>, First 25D, HyD) e níveis de inclusão (200, 500, 1000 e 2000 UI/kg). As dietas experimentais foram formuladas a base de milho e farelo de soja de acordo com as recomendações nutricionais, sendo que todas as formulações tiveram redução de 0,10% de fósforo disponível e 0,15% de cálcio a fim de estabelecer um desafio aos frangos. Foram avaliados o desempenho, as características ósseas e de carcaça, digestibilidade de cálcio e fósforo e morfometria intestinal. Observou-se maior (P<0,05) ganho de peso e melhor conversão alimentar quando os frangos foram alimentados com as dietas contendo as fontes semiativas da vitamina D<sub>3</sub> (25-OHD<sub>3</sub>), para todas as fases estudadas. Para o teor de matéria mineral na tíbia houve efeito linear crescente (P<0,05) dos níveis de suplementação da vitamina D<sub>3</sub> somente para a fonte B. Para os teores de Ca e P houve efeito (P<0,05) de fonte e nível (P<0,05). Observou-se que as fontes de vitamina 25-OHD<sub>3</sub> resultaram em maiores concentrações de Ca e P na tíbia em relação as aves alimentadas com dietas contendo Vitamina D<sub>3</sub>. Com relação ao efeito do nível dietético da vitamina D para o teor de P na tíbia, observou-se efeito linear crescente para a A e efeito quadrático para a B. Para a porcentagem de osso compacto houve superioridade (P<0,05) da D<sub>3</sub> em relação a A para o nível de 2000 UI/kg. Para a área de osso esponjoso houve efeito (P<0,05) de fonte com maior área para A seguida da Be D<sub>3</sub>. Não houve interação significativa (P>0,05) fonte x nível sobre a digestibilidade aparente de cálcio aos 21 e 40 dias de idade dos frangos de corte. No entanto, o uso da fonte de resultou em maior digestibilidade de cálcio aos 21 dias. Aos 40 dias de idade observou-se maior digestibilidade aparente de cálcio (P<0,05) para as fontes de vitamina D semiativas em relação a vitamina D<sub>3</sub>. Houve interação significativa (P<0,05) para altura de vilosidades, profundidade de cripta e relação vilo/cripta aos 21 e 40 dias de idade. Com base nos resultados de desempenho de 1 a 40 dias foram obtidas as biodisponibilidades de 124 e 114 para a fonte A e B, respectivamente. Portanto, conclui-se que existem diferenças em relação a biodisponibilidade relativa entre as fontes de vitamina D<sub>3</sub> e 25OHD<sub>3</sub> para as características ósseas e de desempenho, sendo que as fontes de vitamina D semiativa tiveram maior valor.

**Palavras-chave:** Cálcio e Fósforo. Digestibilidade. Qualidade óssea. Vitamina D semiativa.

## ABSTRACT

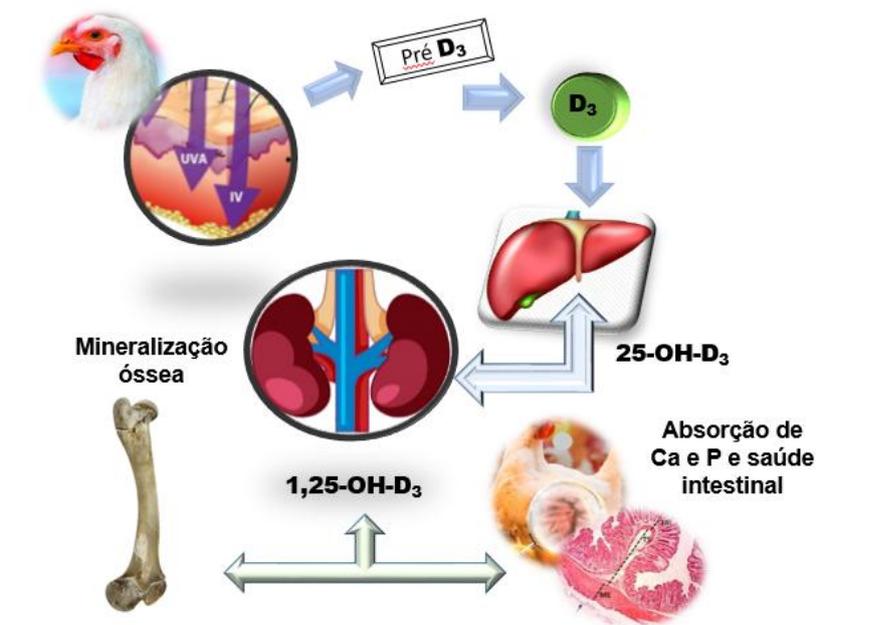
The experiment was conducted with the objective of evaluating the bioavailability of vitamin D<sub>3</sub> sources for broilers, using a 7-OHD<sub>3</sub> as a reference and evaluating the effects of diets with increasing levels of vitamins on the performance and bone characteristics of birds and the digestibility of calcium in feed. 1,040 day-old chicks, male Cobb-500, from a commercial hatchery and housed in 104 metabolism cages were used. A completely randomized design was adopted, with no 3 x 4 + 1 factorial scheme (three sources of vitamin D with four levels of inclusion and a negative control), with 8 repetitions. The factors under study were sources of vitamin D (D<sub>3</sub>, First 25D, HyD) and levels of inclusion (200, 500, 1000 and 2000 IU / kg). The experimental diets were formulated based on corn and soybean meal according to nutritional recommendations, and all formulations had a reduction of 0.10% of available phosphorus and 0.15% of calcium to establish a challenge to chickens. Performance evaluation was performed, such as bone and carcass characteristics, digestibility of calcium and phosphorus and intestinal morphometry. Greater (P <0.05) weight gain and better feed conversion were observed when the chickens were fed diets containing semi-active sources of vitamin D<sub>3</sub> (25-OHD<sub>3</sub>), for all studied phases. For the content of mineral matter in the tibia, there was an increasing linear effect (P <0.05) of vitamin D<sub>3</sub> supplementation levels only for source B. For Ca and P levels there was an effect (P <0.05) of source and level (P <0.05). Note that sources of vitamin 25-OHD<sub>3</sub> have resulted in increased Ca and P practices in the tibia compared to birds fed diets containing Vitamin D<sub>3</sub>. Regarding the effect of the dietary level of vitamin D on the P content in the tibia, the linear effect was increasing for A and quadratic effect for B. For the percentage of compact bone there was superiority (P <0.05) of D<sub>3</sub> in relation to A for the level of 2000 IU / kg. For the spongy bone area, there was an effect (P <0.05) of a source with a larger area, followed by Be D<sub>3</sub>. There was no significant configuration (P > 0.05) source x level on the apparent digestibility of calcium at 21 and 40 days of age in broilers. However, the use of the source results in greater digestibility of calcium at 21 days. At 40 days of age, there was a greater apparent digestibility of calcium (P <0.05) for semi-active sources of vitamin D in relation to vitamin D<sub>3</sub>. (P <0.05) for villus height, crypt depth and villus / crypt ratio at 21 and 40 days of age. Based on the performance results from 1 to 40 days, they were suitable as bioavailability of 124 and 114 for source A and B, respectively. Therefore, it is concluded that there are differences in relation to the relative bioavailability between the sources of vitamin D<sub>3</sub> and 25OHD<sub>3</sub> for bone and performance characteristics, with the sources of semi-active vitamin D having greater value.

Keywords: Calcium and Phosphorus. Digestibility. Bone quality. Semi-active vitamin D.

## Resumo Interpretativo e Resumo Gráfico

Elaborado por **Andressa Carla de Carvalho** e orientada por **Antonio Gilberto Bertechini**

A indústria da biotecnologia tem desenvolvido formas da vitamina D que possam ser mais rapidamente utilizadas nas funções orgânicas, trazendo benefícios ao organismo animal e auxiliando na solução de problemas principalmente ósseos, sendo que essa vitamina tem função diretamente importante no aporte de cálcio para todas as funções orgânicas. Assim, foram criadas formas semiativas da vitamina D, como exemplo a 25-OHD<sub>3</sub>, que já apresenta na sua estrutura a hidroxilação no carbono de número 25. O sistema intensivo de criação dos frangos de corte reduziu drasticamente a possibilidade de biossíntese da vitamina D<sub>3</sub> na pele à partir do precursor colesterol e pela ação dos raios UV. Nos frangos de corte seriam necessários entre 11 e 45 minutos por dia de sol para a biossíntese dessa vitamina (PIZAURO Jr. et al., 2002). Assim, o presente estudo foi realizado com o objetivo de avaliar a biodisponibilidade relativa de duas diferentes fontes de vitamina 25-OHD<sub>3</sub> para frangos de corte usando a D<sub>3</sub> como padrão. A partir dos resultados observados pode-se concluir que existem diferenças em relação a biodisponibilidade relativa entre as fontes de vitamina D<sub>3</sub> e 25OHD<sub>3</sub> para as características ósseas e de desempenho, sendo que as fontes de vitamina D semiativas foram superiores a forma convencional.



## SUMÁRIO

<b>PRIMEIRA PARTE .....</b>	<b>11</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Necessidades nutricionais de vitamina D para frangos de corte .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 Metabolismo da vitamina D nas aves .....</b>	<b>14</b>
<b>2.3 Formação do tecido ósseo em frangos de corte .....</b>	<b>18</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>22</b>
<b>SEGUNDA PARTE - ARTIGO .....</b>	<b>26</b>
<b>Biodisponibilidade relativa de fontes de 25-hydroxycholecalciferol (25-OHD<sub>3</sub>) comparadas a 7-hydroxycholecalciferol (D<sub>3</sub>) em rações para frangos de corte .....</b>	<b>27</b>

**PRIMEIRA PARTE**

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento da produção animal é atribuído, principalmente, ao aperfeiçoamento de técnicas de manejo, melhoria na sanidade, ambiência, melhoramento genético e nutrição. Dessa forma, alternativas para reduzir os custos e potencializar a cadeia produtiva avícola são necessárias. Nesse âmbito, a redução das perdas no processo produtivo, seja diminuição na mortalidade e ou desuniformidade do lote, é sempre uma meta a ser efetivada.

Desta forma, com o intuito de diminuir perdas e reduzir custos no setor avícola, pesquisadores têm buscado alternativas nutricionais. Dentre elas, destaca-se a vitamina D<sub>3</sub> e seus metabólitos, em virtude de sua importante atividade biológica no organismo. A participação na regulação da homeostase de cálcio (Ca) e fósforo (P) em um mecanismo no qual aumenta a captação intestinal, diminuindo as perdas renais e ainda estimulando a reabsorção óssea, é uma das funções classicamente descritas na literatura associando a vitamina D ao processo de mineralização óssea (McDOWELL; RUSSEL, 1989).

Atualmente, há disponível no mercado para uso na alimentação animal os metabólitos formados a partir da vitamina D (D<sub>3</sub>, 25-OH-D<sub>3</sub>, 1,25-OH<sub>2</sub>-D<sub>3</sub>, 1 $\alpha$ -OH-D<sub>3</sub>), cujo objetivo refere-se à disponibilização da vitamina numa forma ativa ou semiativa. Assim, com o fornecimento desses metabólitos pode ocorrer diminuição nos gastos energéticos com metabolização da vitamina, e tendo como efeito o aumento na eficiência no organismo (GARCIA et al., 2013).

Assim, a utilização de suplementos vitamínicos comerciais tem a finalidade de atender as exigências vitamínicas dos animais nas diferentes fases de criação. Como efeito tem-se o aumento do desempenho, da deposição muscular, melhora nas características ósseas.

Objetivou-se com o presente estudo avaliar a biodisponibilidade relativa de duas diferentes fontes de vitamina D semiativa em frangos de corte criados em gaiolas metabólicas, usando a D<sub>3</sub> como padrão.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Necessidades nutricionais de vitamina D para frangos de corte

A atividade biológica da vitamina D<sub>3</sub> e seus metabólitos difere entre as fontes, assim foi desenvolvida uma medida padronizada denominada International Chick Units (ICU), sendo o valor recomendado 62,5 mg/ton de ração de 25-OH-D<sub>3</sub> correspondente a 2.500 18 ICU/ton de vitamina D<sub>3</sub>, de modo que 1,0 mg equivale a 40.000 UI ou 1,0 µg (40 UI) de vitamina D<sub>3</sub> (PIZAURO JÚNIOR et al., 2002; LABOISSIERÉ, 2009).

Estudos conduzidos por Waldroup (1965) e Lofton & Soares (1986) definiram as recomendações preconizadas pelo NRC (1994). Independente da fase de criação, as recomendações do NRC (1994) para vitamina D<sub>3</sub> são 200 UI/kg de ração.

Edwards et al. (1994) determinaram as necessidades nutricionais de vitamina D para frangos de corte em 275 UI/kg de ração para o máximo crescimento e 904 UI/kg para a prevenção de raquitismo, em condições de ausência de luz ultravioleta (UV). Segundo estes autores, a luz UV é bastante representativa (cerca de 800 UI/kg) em reduzir a suplementação de colecalciferol para as aves.

Rostagno et al. (2005) preconizam a suplementação de 2.000 UI/kg na fase inicial de criação de frangos de corte, reduzindo-se para 1.600 e 800 UI/kg nas fases de crescimento e final, respectivamente.

Nascimento (2005) relata que os níveis médios usados pela indústria da área de suplementos vitamínicos no Brasil são, em média, de 3.100, 2.415, 1.880 e 1.235 UI/kg ração, para as fases pré-inicial, inicial, crescimento e final, respectivamente.

Rostagno et al. (2011) sugerem que as recomendações de vitamina D<sub>3</sub> para frangos de corte são 2375 UI, 2090 UI, 1900 UI e 1425 UI/kg, nas fases pré- inicial, inicial, crescimento e final, respectivamente.

O Guia DSM de Suplementação Vitamínica para Animais Domésticos (DSM, 2011) preconiza a suplementação de vitamina D de 3.000-5.000 UI/kg de ração para frangos de corte de 1 a 21 dias de idade e de 2.000-4.000 UI/kg de ração para as aves partir de 22 dias de idade.

Segundo o Optimum Vitamin Nutrition (OVN, 2012) as recomendações de vitamina D<sub>3</sub> podem variar de acordo as linhagens nas diversas de criação. As linhagens Cobb e Hubbard necessitam de 3.000 UI/ kg de ração enquanto a Ross necessita de 3.500 UI/ kg de ração, independente da fase de criação, seja ela inicial ou crescimento.

De acordo com Rostagno et al. (2017) as exigências nutricionais de vitamina D<sub>3</sub> para frangos de corte são: 3.385 UI/kg de ração na fase pré-inicial (1 a 7 dias), 3.054 UI/kg de ração na fase inicial (8 a 21 dias), 2.409 UI/kg de ração na de crescimento (22-25 dias) e 1.763 UI/kg de ração na fase final (35 a 42 dias). Para determinar as exigências de vitamina D precisam ser levados em consideração alguns aspectos que são imprescindíveis para a interpretação correta. Assim sendo, fatores, como a variável estudada (desempenho, características ósseas, absorção e retenção de cálcio e fósforo, etc.), presença de luz UV, fonte da vitamina, inclusão de fitase, linhagem em estudo, desafio sanitário e condições das instalações, podem afetar a determinação das necessidades nutricionais de suplementação de vitamina D em rações para frangos de corte.

Contudo, os relatórios nutricionais apresentam apenas as exigências mínimas, as quais geralmente não são suficientes em condições de criações comerciais, havendo pouca correlação com os níveis empregados na prática (FÉLIX et al., 2009). Assim, as indústrias de suplementos normalmente trabalham com margens de segurança, principalmente para vitaminas lipossolúveis, em torno de 5 a 10 vezes acima das reais necessidades das aves (COELHO et al., 2001).

Diante de uma grande variação das exigências nutricionais referentes a vitamina D<sub>3</sub>, torna-se necessária a realização de pesquisas nessa área, visando esclarecer possíveis efeitos do aumento ou da redução da suplementação de vitamina D<sub>3</sub> e seus metabólitos, enfocando, principalmente, problemas de pernas, que causam grandes perdas na produção avícola.

## **2.2 Metabolismo da vitamina D nas aves**

As vitaminas são definidas como um grupo de compostos orgânicos complexos essenciais ao metabolismo. Caracterizam-se por serem necessárias em pequenas quantidades diárias para funções fisiológicas do metabolismo, manutenção da saúde, crescimento e desenvolvimento do animal (MCDOWELL E RUSSEL, 2000).

Classificada como vitamina lipossolúvel, a vitamina D pode ser sintetizada pelas plantas e pelos animais. O ergosterol por meio da incidência de raios solares, é convertido em ergocalciferol (vitamina D<sub>2</sub>). O colecalciferol (vitamina D<sub>3</sub>) é produzido exclusivamente pelos animais, por meio da conversão do 7-deidrocolesterol, derivado do colesterol, que é sintetizado no fígado e está presente em grandes quantidades na pele, na parede intestinal e em outros tecidos, também pela incidência da luz solar (BERTECHINI, 2013).

O ergocalciferol (vitamina D<sub>2</sub>) possui propriedades muito limitadas ao ser usado em dietas como fator antiosteopenia, em aves (MACARI et al., 2002). Ainda segundo esses

mesmos autores, a concentração de vitamina D na maioria dos ingredientes comumente utilizados na formulação de rações para aves é relativamente baixa.

O colecalciferol (vitamina D<sub>3</sub>) é amplamente distribuído em animais, no qual o seu precursor 7-desidrocolesterol, é um metabólito normal, mas possui uma distribuição limitada nas plantas. Nos animais, a concentração de vitamina D nos tecidos depende do teor de vitamina D da dieta e da exposição à luz solar.

As vitaminas D<sub>2</sub> e D<sub>3</sub> não são biologicamente ativas, sendo convertidas *in vivo* na forma ativa por duas reações sequenciais de hidroxilação. A molécula da vitamina D<sub>2</sub> apresenta um carbono a mais na sua estrutura química e um grupo metil e uma dupla ligação entre os carbonos 22 e 23 comparada a estrutura molecular da vitamina D<sub>3</sub> (CASTRO, 2011).

As vitaminas D<sub>2</sub> e D<sub>3</sub> são brancas a amareladas pós insolúveis em água; moderadamente solúvel em gorduras, óleos e etanol; e livremente solúvel em acetona, éter e éter de petróleo.

A vitamina D<sub>3</sub> é formada em animais pela ação de luz ultravioleta (UV) (295–300 nm) a partir do 7-desidrocolesterol na pele, porém, essa reação físico-química irá depender de diversos fatores que podem interferir no produto final, por exemplo, período do ano, hora do dia, latitude do local e o próprio ambiente. A vitamina D<sub>3</sub> é produzida pelo organismo desde que haja luz suficiente. No caso de frangos de corte é necessário entre 11 a 45 minutos por dia ou deve ser obtida pela alimentação (PIZAURO JÚNIOR et al., 2002).

A vitamina D obtida da dieta é absorvida no intestino delgado, de forma passiva, em associação com os lipídios, como toda vitamina lipossolúvel (MC DOWELL; RUSSEL, 1989), pela ação de ácidos, sais biliares e das lipases. Na ave, a colecalciferol é transportada para a corrente sanguínea no interior de lipoproteínas, os quais chegam até o fígado (KLASING, 1998).

Uma vez no fígado, ocorre a primeira reação mediante a adição de OH na posição 25 da cadeia lateral de carbonos, reação catalisada pela hidroxilase específica encontrada no fígado. Apesar disso, o rim e o intestino também podem produzir 25-OH-D<sub>3</sub>, embora a hidroxilação nesses órgãos seja pouco representativa (McDOWELL; RUSSEL, 1989). Como produto dessa primeira reação de hidroxilação tem-se o 25-hidroxicolecalciferol (25-OH-D<sub>3</sub>). Posteriormente o 25-OH-D<sub>3</sub> é hidroxilado na posição 1 por uma 25-hidroxicolecalciferol 1-hidroxilase específica, encontrada predominantemente no rim.

O resultado é a formação do composto denominado 1,25-dihidroxicolecalciferol (1,25-(OH)<sub>2</sub>D<sub>3</sub>). Esta hidroxilase, bem como a 25-hidroxilase hepática, utiliza também, em sua catálise, citocromo P<sub>450</sub>, oxigênio molecular e NADPH (CHAMPE & HARVEY, 1996).

Pode ocorrer hidroxilação no C-24 da cadeia lateral do 25-OH-D<sub>3</sub> e 1,25-(OH)<sub>2</sub>-D<sub>3</sub> para produzir os metabolitos 24,25-(OH)<sub>2</sub>-D<sub>3</sub> (também chamado calcidiol) e 1,24,25-(OH)<sub>3</sub>-D<sub>3</sub> (também chamado ácido calcitrico ou calcitriol), respectivamente. Essas reações são catalisadas pela mesma atividade, que pode também catalisar outras hidroxilações na posição C-23. A 24-hidroxilase possui uma afinidade 10 vezes maior pelo 1,25-(OH)<sub>2</sub>-D<sub>3</sub> do que para 25-OH-D<sub>3</sub>, mas o excesso de 1000 vezes deste último no plasma sugere que o significado fisiológico primário do hidroxilase está no catabolismo do excesso de 25-OH-D<sub>3</sub>.

Tanto o 1,24,25-(OH)<sub>3</sub>-D<sub>3</sub> quanto o 24,25-(OH)<sub>2</sub>-D<sub>3</sub> parecem ser produzidos sob condições de adequação da vitamina D e homeostase normal do cálcio. Este último metabólito demonstrou inibir o efeito estimulatório do paratormônio (PTH) na reabsorção óssea por osteoclastos, sugerindo que possa participar do controle osteotrópico local osso. O calcitriol é um metabolito biliar importante da vitamina.

A função geral de 1,25-(OH)<sub>2</sub>-D<sub>3</sub> é manter os níveis plasmáticos de Ca e P adequados (ação combinada com o PTH), funcionando basicamente como hormônio esteroide. No tecido ósseo, a mobilização do Ca do osso para o fluido extracelular ocorre a partir da ação conjunta do composto ativo da vitamina D, 1,25-dihidroxicolecalciferol, e do hormônio da paratireoide (PTH). Além disso, a vitamina D participa da biossíntese do colágeno (MACARI et al., 2002).

No duodeno, o 1,25-OH<sub>2</sub>-D<sub>3</sub> impulsiona a absorção ativa de Ca pelos enterócitos, auxiliando nos processos de expressão de proteínas responsáveis pela captação do Ca. No jejuno, a absorção é passiva, de modo que a 1,25-OH<sub>2</sub>-D<sub>3</sub> estimula a expressão de paracelinas, proteínas intercelulares, que formam canais por onde o Ca é transferido passivamente por gradiente de concentração (CASTRO, 2011).

Semelhantemente, a ligação do 1,25-(OH)<sub>2</sub>-D<sub>3</sub> juntamente com um receptor de membrana promove uma amplificação no sistema adenilatociclase-AMPC-proteína quinase, que resulta na ativação da cascata do fosfatidilinositol. Resultando na abertura de vários canais de Ca presentes nas células (mecanismo não-genômico), estimulando a entrada de Ca como segundo mensageiro (MACARI et al., 2002).

A 1,25-(OH)<sub>2</sub>-D<sub>3</sub> estimula a mobilização de Ca e de fosfato dos ossos por um processo que requer síntese de proteínas e a presença de PTH. Consequentemente, atua na manutenção dos níveis plasmáticos de Ca e P pela mobilização de Ca a partir do osso e redução da perda dos minerais pelos rins (GALVÃO et al., 2013).

Estudos revelaram que tanto 1,25-(OH)<sub>2</sub>-D<sub>3</sub> quanto seu receptor está localizado nos núcleos de certos tecidos - os tecidos alvo (osso, rim, intestino) que vitamina D exerce suas

ações clássicas e também outros tecidos. Tais achados indicam uma amplitude das funções genômicas da vitamina D.

Dentre os metabólitos ativos da vitamina D produzidos artificialmente, os de interesses comerciais são o 25-hidroxicolecalciferol e o 1,25-dihidroxicolecalciferol (BRITO, 2010). Estes metabólitos necessitam apenas da hidroxilação no rim regulado pela presença do PTH na posição 1 no caso da 25-OH-D<sub>3</sub> ou da hidroxilação não controlada no fígado na posição 25 no caso da 1 $\alpha$ -OHD<sub>3</sub> (CRENSHAW; RORTVEDT; HASSEN, 2011).

O 25-hidroxicolecalciferol (25-OHD<sub>3</sub>), é a forma predominante no plasma, sendo uma importante forma de armazenamento da vitamina D no organismo (SOUZA e VIEITES, 2014) com meia-vida de duas à três semanas aproximadamente, enquanto a meia-vida da 1,25-(OH)<sub>2</sub>D<sub>3</sub> é de quatro a seis horas (CASTRO, 2011). Segundo Barral et al. (2007) a maior parte da produção deste metabólito é depositada no tecido adiposo, seu principal reservatório, com deposição rápida

Estudos mostraram que a 25-OH-D<sub>3</sub> tem maior atividade biológica, e é fonte mais eficiente em dietas de aves. Bar et al. (1980) relataram que, em frangos de corte, a absorção de 25-OH-D<sub>3</sub> é 83% mais rápida quando comparada a vitamina D<sub>3</sub>. Tal fato está associado a maior afinidade das proteínas intestinais ao metabólito 25-OH-D<sub>3</sub>, que é pelo menos mil vezes maior do que para outros metabólitos da vitamina D<sub>3</sub> (TEEGARDEN et al., 1997).

Vietes et al. (2014) não encontraram diferença para o rendimento de carcaça, de peito e asas, em machos Cobb® suplementados com níveis (0,0; 0,005; 0,001; 0,015 0,0015; 0,0020 e 0,0025 mg) de 25-OH-D<sub>3</sub>/kg de ração. A suplementação de frangos de corte da linhagem Cobb® 500 com vitamina D (0,0700 e 0,0875 mg / kg de ração) provenientes de duas formas (D<sub>3</sub> e 25-OHD<sub>3</sub>) e combinação das duas formas (60% de vitamina D<sub>3</sub> e 40% de 25-OHD<sub>3</sub>) não resultou em diferença no rendimento de carcaça em estudos realizados por Mesquita (2012)

Em estudos mais recentes, Wideman et al. (2015) observaram que a suplementação de 25-OH-D<sub>3</sub> via água potável (33,9  $\mu$ g 25-OH-D<sub>3</sub>/L) resultou em menor incidência de claudicação em frangos de corte. Com o objetivo de avaliar a bioatividade relativa de 25-OH-D<sub>3</sub>, com base na análise da mineralização do fêmur, tíbia e metatarsus, Han et al. (2016) observaram que a 25-OH-D<sub>3</sub> (5 mcg/kg) foi aproximadamente duas vezes mais ativo quanto o colecalciferol no ganho de peso e na resistência óssea de frangos de corte.

De forma semelhante Sakkas et al. (2018), ao avaliarem diferentes dosagens de vitamina D<sub>3</sub> (1000, 4000 e 7000 UI) com substituição parcial de 25-OH-D<sub>3</sub> (1000 UI D<sub>3</sub> + 3000UI 25-OH-D<sub>3</sub>), verificaram melhorias consistentes na mineralização óssea no final do período de crescimento de frangos de corte devido a associação entre as fontes.

### 2.3 Formação do tecido ósseo em frangos de corte

O osso é um tecido multifuncional, metabolicamente muito ativo, constituído de uma população heterogênea de células, em diferentes estágios de diferenciação, que, através de coordenada sequência de eventos, regula a mobilização e a deposição mineral durante a vida do animal (PIZAURO JUNIOR et al., 2017). Além disso, servem de reservatório de Ca e P os quais podem ser mobilizados durante distúrbios da homeostase (PIZAURO JÚNIOR, 2002).

O tecido ósseo é constituído de aproximadamente 70% de minerais, principalmente Ca e P, 22% de proteína e 8% de água (PIZAURO JUNIOR et al., 2017). A matriz óssea pode ser dividida em parte orgânica e inorgânica. O colágeno do tipo I constitui, aproximadamente, cerca de 95% da matriz orgânica, os 5% restantes são compostos de proteoglicanas e várias outras proteínas do tipo não colagenosas (PIZAURO JUNIOR et al., 2017).

Neste tecido estão presentes quatro tipos de células: os osteoblastos, osteócitos e osteoprogenitoras, responsáveis pela formação e mineralização; e os osteoclastos, responsáveis pela reabsorção. A produção dessas células ocorre em dois sistemas fisiológicos, o hematopoiético e o estroma fibroblástico. Os osteoclastos são provenientes do sistema hematopoiético, enquanto os osteoblastos, os osteócitos, os condoblastos, células mesenquimais progenitoras, e os condrócitos, células responsáveis pela produção e manutenção da matriz cartilaginosa são originadas do estroma fibroblástico (PIZAURO JUNIOR et al., 2017).

Os osteoblastos são as principais células envolvidas no processo de ossificação, sintetizam e regulam a mineralização da parte orgânica (colágeno tipo I, proteoglicanas e glicoproteínas adesivas) da matriz óssea.

São responsáveis pela produção de cadeias proteicas ricas em aminoácidos como prolina, hidroxiprolina, etc., precursores de colágeno para formação de osteoide, o precursor não-calcificado do osso nos locais superficiais de crescimento ou remodelagem. Além disso, secretam fatores de crescimento locais sob influência do hormônio de crescimento e fosfatase alcalina óssea, relacionadas com o processo de mineralização do osso através da neutralização de um inibidor da deposição mineral – pirofosfato (MOTTA, 2003; JUNQUEIRA e CARNEIRO, 2004; PIZAURO JÚNIOR, 2008).

Os osteócitos são células achatadas, com forma de amêndoa, que moldam o esqueleto, consistem em osteoblastos maduros, responsáveis pela manutenção da matriz óssea (Pizauro Júnior, 2008). As pequenas áreas ou orifícios no osso nos quais os osteócitos residem denominam-se lacunas, das quais partem canalículos ou prolongamentos que estabelecem

contatos com as células adjacentes através de junções comunicantes (JUNQUEIRA E CARNEIRO, 2004; REECE, 2006).

Os osteoclastos são as células gigantes e multinucleadas, relacionadas com a reabsorção do tecido ósseo, atuando opostamente aos osteoblastos. Estão presentes em 1,0 a 4,0% das superfícies ósseas. A finalidade dos osteoclastos é de reparação de uma fratura ou mobilização de íons de cálcio (realizadas continuamente); entretanto sob o controle do PTH, que por sua vez estimula a secreção de enzimas e ácidos que atuam digerindo a matriz orgânica e dissolvendo os sais de cálcio (MOTTA, 2003; JUNQUEIRA E CARNEIRO, 2004).

O principal constituinte (80,0 a 90,0%) da matriz orgânica é o colágeno, fibra proteica de tripla hélice, que contribui para a força tensional do osso, fornecendo suporte e orientação para a matriz mineral. Por representar a maior parte orgânica do osso, o colágeno também afeta a propriedade mecânica dos ossos (Rath et al., 2000). Segundo Young (2003) foram identificados mais de 20 tipos de colágenos que possuem diferentes especialidades entre os diversos tecidos animais.

O colágeno principal do osso é referido como tipo I, é sintetizado dentro dos osteoblastos e, em menor extensão, nos osteócitos. Ainda, o colágeno tipo I é composto por aproximadamente 95,0% do conteúdo total de colágeno ósseo e cerca de 80,0% das proteínas presentes no osso (VIGUET-CARRIN et al., 2006).

Os colágenos do tipo I do osso juntamente com o tipo II, que compõe a cartilagem são encontrados em tecidos sujeitos ao estresse por compressão e tensão. Eles formam uma rede 27 fibrilar na matriz extracelular que são estabilizadas por condensação de resíduos de aminoácidos. Tais ligações cruzadas são as principais responsáveis pela estabilização da molécula e das fibras colagenosas, conferindo força para suportar pressões (VELLEMAN, 2000).

Além do colágeno, 10,0 a 15,0% da matriz orgânica consiste em proteoglicanos, lipídios e proteínas não colagenosas, tais como osteocalcina, osteopontina e osteonectina (RATH et al., 2000).

Durante o pico de crescimento dos frangos de corte, os principais eventos fisiológicos da ossificação endocondral podem ocorrer em menos de 24 horas, sendo a proliferação dos condrócitos, calcificação da matriz, invasão vascular, degradação da matriz e formação primária dos ossos. Os condrócitos ativos passam pelos estágios de proliferação, diferenciação e apoptose, antes dos vasos sanguíneos penetrarem nas lacunas remanescentes (MURAKAMI, 2000).

O processo de calcificação do tecido ósseo envolve as vesículas extracelulares, as quais estão relacionadas com o ciclo de vida dos condrócitos e, possivelmente, com o seu processo de apoptose (PIZAURO JÚNIOR et al., 2002).

A formação do esqueleto ou ossificação ocorre por um processo indireto chamado endocondral ou por um direto denominado de intramembranoso. A terminologia endocondral e intramembranoso refere-se aos locais nos quais a formação ocorre. Endocondral está relacionado ao crescimento que acontece na cartilagem, e intramembranoso ao crescimento na membrana (PIZAURO JÚNIOR, 2008).

Na ossificação intramembranosa, o osso é depositado na superfície de estruturas ósseas preexistentes. Modelação e remodelação óssea ocorrem depois que o osteoclastos removem o osso existente. Ocorre durante o desenvolvimento embrionário pela transformação direta das células do mesenquima em osteoblastos (PIZAURO JÚNIOR, 2008).

A ossificação endocondral é responsável pelo crescimento da maior parte dos ossos curtos e longos. Caracteriza-se por tecido ósseo que é depositado em uma rede de cartilagem calcificada. Esse processo é responsável pelo desenvolvimento em comprimento e aumento do esqueleto durante o crescimento.

A regulação do desenvolvimento do tecido ósseo, do metabolismo e da homeostase do Ca é desempenhado pela forma ativa da vitamina D, o 1,25-diidroxicolecalciferol, possuindo papel fundamental na regulação do crescimento e diferenciação celular do tecido ósseo.

A mobilização do Ca do osso para o fluído extracelular ocorre a partir da ação conjunta do composto ativo da vitamina D, e do PTH. Os osteoblastos são estimulados a produzirem osteocalcina e fosfatase alcalina, aumentando o recrutamento, a diferenciação e a fusão dos precursores em osteoclastos ativos. Além disso, aumenta ainda a reabsorção de Ca e fosfato no osso ainda não mineralizado. Por meio de suas ações no intestino, rins, ossos e glândulas paratiróideas, o 1,25-diidroxicolecalciferol é fundamental para a homeostase do Ca e para o desenvolvimento de um esqueleto saudável (BRITO et al., 2010).

Com o avanço do melhoramento genético, as anormalidades locomotoras, especialmente as que geram restrição na mobilidade são comumente observadas na metade final do crescimento das aves. O desenvolvimento desproporcional do músculo do peito e a diminuição proporção dos músculos e ossos da perna, criam um desbalanço esquelético biomecânico, provocando disfunções estruturais e comprometendo assim a locomoção normal das aves (BARBOSA et al., 2010).

A fragilidade das pernas dos frangos de corte, foi identificada como decorrente de alterações na placa de crescimento, raquitismo, discondroplasia, degeneração femoral,

espondilolistese, desordens do desenvolvimento ósseo, dificuldades ao caminhar e defeitos de angulação do tipo valgus e varus. Essas alterações comprometem o resultado produtivo, é relatada a ocorrência de 3 a 6% de refugos e descartes de aves na linha de abate, devido a problemas de pernas, resultando em perdas econômicas significativas (MENDONÇA, 2000).

A nutrição desempenha papel fundamental para a obtenção de um tecido ósseo de alta qualidade. O crescimento ósseo pode ser afetado pelos níveis de Ca, P, íons monovalentes, minerais, proteínas, aminoácidos, carbonatos e vitaminas, principalmente a vitamina D<sub>3</sub> (WHITEHEAD, 2009).

Durante as duas últimas décadas, o foco de interesse dos nutricionistas, em relação a esses problemas, gerou uma série de estudos, entre os quais se destacam artigos sobre os efeitos da vitamina D, do Ca, do P, do cloro, do zinco, do manganês, do cobre, das vitaminas A e C, da piridoxina, da colina, do ácido fólico, da niacina, da metionina, da cistina, da cisteína e da homocisteína (COOK, 2000).

Por estar diretamente associada à absorção de Ca e P, a vitamina D, na sua forma ativa, pode influenciar o surgimento de anomalias ósseas. A discondroplasia tibial, principal distúrbio ósseo de frangos de corte, consiste na hipertrofia de condrócitos na zona pré-hipertrófica, que resulta numa massa de cartilagem avascular na região de crescimento dos ossos longos (PIZAURO JR., 2002). A variação na relação Ca e P nas dietas e a deficiência de vitamina D parecem ser principais causas nutricionais relacionadas à discondroplasia tibial (SULLIVAN, 1994)

Diante disso, inúmeros programas nutricionais vêm sendo estudados, como a suplementação de vitaminas, com o objetivo de obter dietas que promovam o melhor desempenho produtivo, qualidade óssea e bem-estar das aves. As diferentes fontes de vitaminas D, tem expressiva participação no metabolismo ósseo, sendo responsáveis pelo crescimento e manutenção do tecido esquelético (BRITO et al., 2010).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAR, A.; SHARVIT, M.; NOFF, D.; EDELSTEIN, S.; HURWITZ, S. Absorption and excretion of cholecalciferol and of 25- hydroxycholecalciferol and metabolites in birds. **Journal of Nutrition**, v. 110, p. 1930-1934, 1980.
- BARBOSA, A. A.; MORAES, G. H. K.; TORRES, R. A.; REIS, D. T.; RODRIGUES, C. S. E MÜLLER, E. S. Avaliação da qualidade óssea mediante parâmetros morfométricos, bioquímicos e biomecânicos em frangos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, p. 772-778, 2010.
- BARBOSA, A. A.; MORAES, G. H. K.; TORRES, R. A.; REIS, D. T.; RODRIGUES, C. S. E MÜLLER, E. S. Avaliação da qualidade óssea mediante parâmetros morfométricos, bioquímicos e biomecânicos em frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 772-778, 2010.
- BERTECHINI, A. G. **Nutrição de Monogástricos**. Lavras: UFLA, 373 p. 2013.
- BOZKURT, M.; YALÇIN, S.; KOÇER, B.; TÜZÜN, A. E.; AKŞIT, H.; ÖZKAN, S.; UYGUN, M.; EGE, G.; GÜVEN, G.; YILDIZ, O. Effects of enhancing vitamin D status by 25-hydroxycholecalciferol supplementation, alone or in combination with calcium and phosphorus, on sternum mineralisation and breast meat quality in broilers. **British Poultry Science**, 2017
- BRITO, J. A. G. et al. Efeito da vitamina D3 e 25-hidroxi-colecalciferol sobre o desempenho, o rendimento de carcaça e a morfologia intestinal de frangos de corte<sup>1</sup>. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 39, n.12, p. 2656- 2663, 2010.
- BRITO, J. A. G.; BETERCHINI, A. G.; FASSANI, E. J.; RODRIGUES, P. B.; LIMA, E. M. C.; MENEGHETTI, C. Efeito da vitamina D3 e 25-hidroxicolecalciferol sobre o desempenho, o rendimento de carcaça e a morfologia intestinal de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 2656-2663, 2010.
- BRITO, J. A. G.; BETERCHINI, A. G.; FASSANI, E. J.; RODRIGUES, P. B.; LIMA, E. M. C.; MENEGHETTI, C. Efeito da vitamina D3 e 25-hidroxicolecalciferol sobre o desempenho, o rendimento de carcaça e a morfologia intestinal de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 2656-2663, 2010.
- CASTRO, L. C. G. O Sistema Endocrinológico Vitamina D. **Arq Bras Endocrinol Metab**, 55: 566-575, 2011.
- CHAMPE, P. C.; HARVEY, R. A. **Bioquímica ilustrada**. 2. ed.- Porto Alegre:ARTMED, 1996.
- COELHO, M.; MCKNIGHT, W.; COUSINS, B. Effects of a targeted B-vitamin regimen on rate and efficiency of fast growing broilers from 0 to 49 days. **Poult. Sci.**, v. 80, n. 832, suppl. 1, p. 201, 2001.

COOK, M. E. Skeletal deformities and their causes: Introduction. **Poultry Science**, Champaign, v. 79, n. 7, p. 982–984, July 2000.

CRENSHAW, T. D.; RORTVEDT, L. A.; HASSEN, Z. Triennial growth symposium: a novel pathway for vitamin D-mediated phosphate homeostasis: implications for skeleton growth and mineralization. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 87, n. 7, p. 1957-1964, July 2011.

DSM vitamin supplementation guidelines for domestic animals. Switzerland: DSM Nutritional Products, 2011. Disponível em: < <http://www.docstoc.com/docs/70952936/DSM-Vitamin-Supplementation-Guidelines>>. Acesso em: 17 de Agosto de 2019.

EDWARDS JUNIOR, H. M. Nutrition and skeletal problems in poultry. **Poultry Science**, Champaign, v. 79, n.7, p. 1018–1023, July, 2000.

EDWARDS JUNIOR, H. M.; ELLIOT, M. A.; SOONCHARERNYING, S.; BRITTON, W. M. Quantitative requirement for cholecalciferol in the absence of ultraviolet light. **Poultry Science**, Champaign, v. 73, n. 2, p. 288–294, Feb. 1994.

FÉLIX, A. P.; MAIORKA, A.; SORBARA, J. O. B. Níveis vitamínicos para frangos de corte. **Ciênc. Rural**, v. 39, n. 2, p. 619-626, 2009.

GALVÃO, L.O.; GALVÃO, M. F.; REIS, C. M. S.; BATISTA, C. M.; CASULARI, E. L. A. Considerações atuais sobre a vitamina D. **Brasília Médica**, v. 50, p. 324-332, 2013

GARCIA, A. F. Q. M.; MURAKAMI, A. E.; AMARAL DUARTE, C. R.; ROJAS, I. C. O. R.; PICOLI, K. P.; PUZOTTI, M. M. Use of vitamin D3 and its metabolites in broiler chicken feed on performance, bone parameters and meat quality. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*, v. 26, p. 408-415, 2013.

HAN, J.C.; CHEN, G.; WANG, J.; ZHANG, J.; QU, H.X.; ZHANG, C.; YAN, Y.; CHENG, Y.H. Evaluation of relative bioavailability of 25-hydroxycholecalciferol to cholecalciferol for broiler chickens. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 29, p. 11451151, 2016.

KLASING, K. C. **Comparative avian nutrition**. Wallingford: CAB International, p. 350. 1998.

LABOISSIÈRE, M. Nutrição “in ovo” com 25-hidroxicolicalciferol 25(OH)D3. Seminário do Programa de Pós Graduação em Ciência Animal. Goiânia-GO: Universidade Federal de Goiás, 35p. 2009.

LOFTON, J. T.; SOARES JUNIOR, J. H. The effects of vitamin D3 on leg abnormalities in broilers. **Poultry Science**, Champaign, v. 65, n. 4, p. 749-756, Apr. 1986.

MACARI, M.; FURLAN, R. L.; GONZALES, E. **Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte**. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 2002.

MCDOWELL, L.R. **Vitamins in Animal and Human Nutrition**; 2ª Edição – 2000.

MCDOWELL; L.R. **Vitamin in Animal Nutrition**, Academic Press, 1989

MENDONÇA JÚNIOR, C. X. Enfermidades do Sistema Locomotor. In: BERCHIERI JÚNIOR, A.; MACARI, M. **Doenças das Aves. Campinas: FACTA**, 2000. p. 29-36.

MOTTA, V.T. **Bioquímica clínica para o laboratório: princípios e interpretações**. 4.ed. São Paulo: Robe Editorial EDUCS – Caxias do Sul, 2003.

MURAKAMI, A. E. Balanço eletrolítico da dieta e sua influência sobre o desenvolvimento dos ossos de frangos. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLA, 2000. **Anais...**, 2000. p. 33-6.

NASCIMENTO, A. H.; SILVA, M. A.; LIMA, I. L. Níveis nutricionais utilizados para frangos de corte pela indústria no Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE AVES E SUÍNOS, 2., 2005, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, 2005. p. 331-347.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient Requirement of Poultry**. 9. ed. Washington: National Academic Science, 1994. 155 p. (Nutrient Requirements of Domestic Animals).

PIZAURO JR, J. M. Estrutura e função do tecido ósseo. In: MACARI, M.; FURLAN, R. L.; GONZALES, E. **Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte**. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 2002. p.247-265.

PIZAURO JÚNIOR, J. M.; CIANCAGLINI, P.; MACARI, M. Discondroplasia tibial: mecanismos de lesão e controle. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 4; p. 169-185, 2002.

PIZAURO-JUNIOR, J. M.; SANTOS, L. F. J.; GONÇALVES, A. M. Estrutura e função do tecido ósseo. IN: MACARI, M.; MAIORKA, A. **Fisiologia das aves comerciais**. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 2017. p.492-511.

PONSO, R.; FARIA, D. E.; ALBUQUERQUE, R.; PAZ, I. C. L. A.; ARTONI, S. M. B.; SANTOS, A. L.; SAVIANI, G.; ARAUJO, C. M. M. Avaliação do desenvolvimento da discondroplasia tibial em frangos de corte submetidos à dieta com 25 hidroxicolcalciferol. *Brazilian Journal Veterinary Research and Animal Science*, v. 49, p. 153-161, 2012.

RATH, N.C.; HUFF, G.R.; HUFF, W.E.; BALOG, J.M. Factors regulating bone maturity and strength in poultry. **Poultry Science**, v.79, n.7, p.1024-1032, 2000.

ROSTAGNO, H. S. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. Viçosa, MG: UFV, 2005. p. 141.

SAKKAS, P.; SMITH, S.; HILL, T. R.; KYRIAZAKIS, I. A reassessment of the vitamin D requirements of modern broiler genotypes. **Poultry Science**, v. 0, p. 1-11, 2018.

SEEDOR, J. G.; QUARRACCIO, H. H.; THOMPSON, D. D. The Bisphosphonate Alendronate (MK-217) inhibits bone loss due to ovariectomy in rats. **J. Bone Miner. Res.**, v.6, p.339-346, 1991.

SULLIVAN, T. W. Skeletal problems in poultry: Estimated annual cost and description. **Poultry Science**, Champaign, v. 73, n.6, p. 879–882, June 1994.

TEEGARDEN, D.; MERIDETH, S. C.; SITRIN, M. Isolation and characterization of a 25-hydroxyvitamin binding protein from rat enterocyte cytosol. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 8, p. 195-200, 1997.

VELLEMAN, S.G. The role of the extracellular matrix in skeletal development. **Poultry Science**, v.79, n.7, p.985-989, 2000.

VIEITES, F. M.; NALON, R. P.; SANTOS, A. L.; BRANCO, P. A. C.; SOUZA, C. S.; NUNES, R. V.; CALDERANO, A. A.; ARRUDA, N. V. M. Desempenho, rendimento de carcaça e cortes nobres de frangos de corte alimentados com rações suplementadas com *Solanum glaucophyllum*. **Cienc. Agr.**, v. 35, n. 3, p. 1617-1626, 2014.

VIGUET-CARRIN, S.; GARNERO, P.; DELMAS, P.D. The role of collagen in bone strength. **Osteoporos Int.**, v.17, p.319-336, 2006.

WALDROUP, P. W.; STEARNS, J. E.; AMMERMAN, C. B.; HARMS, R.W. Studies on the vitamin D3 requirement of the broiler chicks. **Poultry Science**, Champaign, v. 44, n. 2, p. 543–548, 1965.

WHITEHEAD, C. The black boné syndrome in broilers. **International Hatchery Practice**, v. 23, n. 8, p. 7-9, 2009.

WIDEMAN, R. F.; BLANKENSHIP, J.; PEVZNER, I. Y.; TURNER, B. J. Efficacy of 25OH vitamin D3 prophylactic administration for reducing lameness in broilers grown on wire flooring. **Poultry Science**, v. 94, p. 1821-1827, 2015.

YOUNG, M.F. Bone matrix proteins: their function, regulation, and relationship to osteoporosis. **Osteoporos Int.**, v.14,n.3, p.35-42, 2003.

**SEGUNDA PARTE - ARTIGO**

**Efeitos de nova vitamina D<sub>3</sub> para dietas de frangos de corte de corte**

**Andressa Carla de Carvalho<sup>†1</sup>, Antônio Gilberto Bertechini<sup>†</sup>**

*<sup>†</sup>Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, CEP:37200-900,  
Minas Gerais, Brasil.*

<sup>1</sup>Autor correspondente: [andressacarvalho47@gmail.com](mailto:andressacarvalho47@gmail.com)

\*Artigo redigido conforme normas da revista: "Poultry Science" (Versão preliminar)

## Efeitos de nova vitamina D<sub>3</sub> para dietas de frangos de corte de corte

Andressa Carla de Carvalho <sup>1</sup> e Antônio Gilberto Bertechini <sup>1</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, CEP: 37200-900, Minas Gerais, Brasil. E-mail para correspondência: [adressacarvalho47@gmail.com](mailto:adressacarvalho47@gmail.com).

### RESUMO

O experimento foi conduzido objetivando-se avaliar a biodisponibilidade de fontes de vitamina D<sub>3</sub> para frangos de corte, utilizando a 7-OHD<sub>3</sub> como referência e avaliar os efeitos de dietas com níveis crescentes das vitaminas sobre o desempenho e características ósseas das aves e a digestibilidade de cálcio das rações. Foram utilizados 1.040 pintos de um dia, machos Cobb-500, provenientes de incubatório comercial e alojados em 104 gaiolas de metabolismo. Adotou-se um delineamento inteiramente casualizado, no esquema fatorial 3 x 4 + 1 (três fontes de vitamina D com quatro níveis de inclusão e um controle negativo), com 8 repetições. Os fatores em estudo foram as fontes de vitamina D (D<sub>3</sub>, First 25D, HyD) e níveis de inclusão (200, 500, 1000 e 2000 UI/kg). As dietas experimentais foram formuladas a base de milho e farelo de soja de acordo com as recomendações nutricionais, sendo que todas as formulações tiveram redução de 0,10% de fósforo disponível e 0,15% de cálcio a fim de estabelecer um desafio aos frangos. Foram avaliados o desempenho, as características ósseas e de carcaça, digestibilidade de cálcio e fósforo e morfometria intestinal. Observou-se maior (P<0,05) ganho de peso e melhor conversão alimentar quando os frangos foram alimentados com as dietas contendo as fontes semiativas da vitamina D<sub>3</sub> (25-OHD<sub>3</sub>), para todas as fases estudadas. Para o teor de matéria mineral na tíbia houve efeito linear crescente (P<0,05) dos níveis de suplementação da vitamina D<sub>3</sub> somente para a fonte B. Para os teores de Ca e P houve efeito (P<0,05) de fonte e nível (P<0,05). Observou-se que as fontes de vitamina 25-OHD<sub>3</sub> resultaram em maiores concentrações de Ca e P na tíbia em relação as aves alimentadas com dietas contendo Vitamina D<sub>3</sub>. Com relação ao efeito do nível dietético da vitamina D para o teor de P na tíbia, observou-se efeito linear crescente para a A e efeito quadrático para a B. Para a porcentagem de osso compacto houve superioridade (P<0,05) da D<sub>3</sub> em relação a A para o nível de 2000 UI/kg. Para a área de osso esponjoso houve efeito (P<0,05) de fonte com maior área para A seguida da B e D<sub>3</sub>. Não houve interação significativa (P>0,05) fonte x nível sobre a digestibilidade aparente de cálcio aos 21 e 40 dias de idade dos frangos de corte. No entanto, o uso da fonte de resultou em maior digestibilidade de cálcio aos 21 dias. Aos 40 dias de idade observou-se maior digestibilidade aparente de cálcio (P<0,05) para as fontes de vitamina D semiativas em relação a vitamina D<sub>3</sub>. Houve interação significativa (P<0,05) para altura de vilosidades, profundidade de cripta e relação vilo/cripta aos 21 e 40 dias de idade. Com base nos resultados de desempenho de 1 a 40 dias foram obtidas as biodisponibilidades de 124 e 114 para a fonte A e B, respectivamente. Portanto, conclui-se que existem diferenças em relação a biodisponibilidade relativa entre as fontes de vitamina D<sub>3</sub> e 25OHD<sub>3</sub> para as características ósseas e de desempenho, sendo que as fontes de vitamina D semiativa tiveram maior valor.

**Palavras-chave:** Cálcio. Digestibilidade. Fósforo. Morfometria intestinal. Qualidade óssea. Vitamina D semiativa.

## ***1 Introdução***

O rápido crescimento do frango de corte moderno, resultado do intenso melhoramento genético, tem contribuído para o aparecimento de problemas ósseos que tem prejudicado o rendimento final na produção de carne dessas aves.

As deformidades ósseas são ocasionadas devido às modificações no processo de crescimento normal e da homeostase no tecido ósseo (PONSO et al., 2012). Em geral, os problemas primordiais são motivados pela discondroplasia tibial (DT) e os estruturais, pela deformidade e distorções dos ossos longos, sobretudo no final do crescimento (BARBOSA et al., 2010).

Pesquisas sugerem que suplementar com fontes de vitamina D (25-OHD3) pode melhorar o desempenho (YARGER et al., 1995; FRITTS e WALDROUP, 2005), enquanto outros estudos indicaram que esta característica não foi influenciada pela suplementação (KORVER, 2005; CHOU et al., 2009). A suplementação com vitamina D (25-OHD3) pode também influenciar positivamente o rendimento de carcaça (KORVER, 2005; BRITO et al., 2010), o rendimento de peito (YARGER et al., 1995) e a qualidade óssea de frangos de corte (SAUNDERS-BLADES e KORVER, 2006; RAMA RAO et al., 2006).

Os aspectos nutricionais influenciam diretamente na formação e no desenvolvimento adequado do tecido ósseo. Dentre os diversos fatores tem-se o aporte de aminoácidos, minerais, principalmente cálcio (Ca) e fósforo (P) e algumas vitaminas, dentre as quais se destaca a vitamina D. Essa, por sua vez, tem papel fundamental no metabolismo de Ca e P, diminuindo a incidência e a severidade de problemas locomotores. A sua utilização pode variar de acordo com os níveis de suplementação e de acordo com as fontes (utilizadas, uma vez que os derivados da vitamina D exibem distintos graus de atividade biológica).

A utilização de níveis práticos de suplementação da vitamina D, em diferentes fases de criação dos frangos de corte, não atende às recomendações do National Research Council (NRC, 1994). Assim, na literatura científica, existe divergência em relação à fonte usada e aos resultados de desempenho e de redução de problemas de pernas e anomalias ósseas. Mundialmente, há carência de estudos relacionados ao efeito do uso de diferentes fontes (metabólitos) em rações para frangos de corte, matrizes e poedeiras, avaliando características produtivas e ósseas.

Objetivou-se com o presente estudo avaliar a biodisponibilidade relativa de duas diferentes fontes de vitamina D semi-ativa em frangos de corte criados em gaiolas metabólicas, usando a D<sub>3</sub> como padrão.

## ***2 Material e métodos***

### ***2.1 Localização e período experimental***

O ensaio experimental foi realizado no CPTA (Centro de Pesquisa e Tecnologia Avícola), localizado na BR 265, Km 344, no município de Lavras, Minas Gerais, em convênio com a Universidade Federal de Lavras. Todos os procedimentos realizados foram avaliados e aprovados pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Federal de Lavras sob protocolo n° 005/2020.

Foram utilizados 1040 pintainhos, machos, de um dia de idade, da linhagem Cobb<sup>®</sup>500 alojados em 104 gaiolas metabólicas, com cada compartimento medindo 75 x 63 x 50.

Adotou-se delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 3 x 4 + 1 (três distintas vitamina D em quatro níveis e um controle negativo) e oito repetições, com dez e cinco aves por repetição no período de 1 a 21 e de 22 a 40 dias de idade, respectivamente.

Os tratamentos experimentais foram constituídos conforme a Tabela 1. Foram utilizadas três distintas vitamina D, sendo uma a D<sub>3</sub> (colecalfiferol) e duas semiativas (25OHD<sub>3</sub>) denominadas A e B, em quatro níveis de suplementação: 200; 500; 1000 e 2000 UI/kg.

A vitamina D<sub>3</sub> fornecia 500.000 UI/g e as semiativas 69 mg fornecendo 2.760.000 UI. Foram preparados três suplementos vitamínicos contendo 10.000 UI/g das respectivas fontes.

As rações fareladas foram formuladas à base de milho e farelo de soja, de acordo com as recomendações nutricionais de Rostagno et al. (2017), exceto para os níveis de cálcio (Ca) e fósforo disponível (Pd) que foram reduzidos em 0,15% e 0,10%, respectivamente, durante todo o período experimental. O suplemento vitamínico utilizado foi isento de vitamina D (Tabela 2).

Para obtenção dos demais tratamentos foi realizada a substituição do inerte do tratamento controle negativo com as concentrações das fontes vitamínicas e níveis utilizados.

Os animais receberam ração e água *ad libitum* e foram mantidos aquecidos até 14 dias de idade. As temperaturas médias, máxima e mínima, registradas durante o período experimental após 15 dias foram 28,7°C e 16,4°C, respectivamente. O programa de iluminação com lâmpadas de LED foi adotado até os 14 dias, 23 horas de luz (23L:1E) e 15 dias até o final do período experimental de 16 horas de luz (16L:8E).

## ***2.2 Desempenho e rendimento de carcaça***

Foi mensurado o desempenho zootécnico: consumo de ração (CR), ganho de peso (GP) e conversão alimentar (CA) em três períodos distintos: 1 a 21, 22 a 40 e 1 a 40 dias de idade das aves. O CR foi calculado pela diferença entre a quantidade de ração fornecida no início do período e a sobra no final do período. O GP foi calculado pela pesagem das aves subtraindo o

peso final pelo peso inicial. A mortalidade das aves foi monitorada duas vezes ao dia e quando verificada mortalidade, foi realizado o cálculo para correção da CA segundo metodologia proposta por Sakomura & Rostagno (2016).

Aos 40 dias de idade, duas aves representativas do peso médio de cada parcela experimental ( $\pm 5\%$ ) foram selecionadas, pesadas e submetidas a jejum alimentar de oito horas, e, então insensibilizadas por deslocamento cervical, sangradas e evisceradas. A carcaça (sem vísceras, pescoço e pés), a gordura abdominal e as partes separadas da carcaça: peito, coxas, sobrecoxas, asas e dorso foram pesadas para obtenção dos rendimentos.

O rendimento de carcaça (RCAR) foi calculado em relação ao peso vivo da ave antes do abate  $[(\text{Peso Carcaça}/\text{Peso Vivo}) \times 100]$ . O rendimento das partes (peito – RPEI; coxas – RCOX; sobrecoxas – RSOB; asas – RASA; dorso – RDOR) e o percentual de gordura abdominal (GA) foram determinados em relação ao peso da carcaça  $[(\text{Peso Parte}/\text{Peso Carcaça}) \times 100]$ .

### ***2.3 Índices séricos de Ca e P***

Aos 21 e 40 dias de idade, uma ave por repetição foi selecionada para colheita de sangue da asa esquerda para análise sanguínea de Ca e P no soro.

Foi realizada a antissepsia do local da colheita com algodão umedecido em álcool 70% e o sangue (aproximadamente cinco mL) foi coletado usando-se seringa descartável. Durante a coleta, as amostras foram mantidas em caixa de isopor com gelo e, posteriormente, foram encaminhadas a um laboratório de análises clínicas em Lavras – MG método colorimétrico.

### ***2.4 Qualidade óssea***

Aos 21 e 40 dias de idade, duas aves com peso próximo a média da parcela ( $\pm 5\%$ ) foram abatidas e as tíbias direitas e esquerdas das mesmas foram coletadas e imediatamente armazenadas em freezer ( $-20^{\circ}\text{C}$ ) para posterior análise da qualidade óssea. As tíbias direitas foram utilizadas para obtenção da porcentagem de matéria mineral (MM %). As tíbias foram limpas manualmente, sendo retirado o tecido aderido ao osso, secas em estufa  $105^{\circ}\text{C}$  por 12 horas, desgorduradas por meio de extrator de gordura utilizando éter etílico por aproximadamente 12 horas, secas ao ar e novamente conduzidas à estufa  $105^{\circ}\text{C}$  para secagem e manutenção do peso. As amostras foram pesadas em pool (três tíbias) por meio de balança analítica e levadas à MUFLA por 6 horas para obtenção e determinação do conteúdo de matéria mineral. As tíbias esquerdas foram utilizadas para mensuração de peso (g), comprimento (mm) para obtenção do índice de Seedor (IS) e resistência à quebra (Kgf). O peso foi mensurado por meio de balança digital e o comprimento por meio de paquímetro digital. A resistência à quebra foi mensurada utilizando prensa mecânica universal, pelo método de flexão, com carga de força de 200 Kgf em velocidade de  $5\text{mm s}^{-1}$ , sendo considerado o valor máximo de força utilizado para ruptura como resistência à quebra (RQ). Foi realizado o cálculo do IS como medida correlacionada à densidade óssea, por meio da Equação 1, proposta por Seedor, Quarruccio & Thompson (1991):

$$IS = \frac{\text{peso}(g)}{\text{comprimento}(cm)} \text{ (Equação 1)}$$

O valor assumido para cada análise foi à média dos resultados obtidos para as duas tíbias.

### ***2.5 Análise morfométrica do tecido ósseo***

A análise morfométrica do tecido ósseo foi realizada através do software ImageJ (<https://imagej.nih.gov/ij/>). Para isso, dez fotomicrografias foram capturadas para a avaliação de cada parâmetro empregando-se um sistema de captura de imagem, consistindo em

microscópio trinocular Olympus CX31 (Olympus Optical Ltd. Brasil, São Paulo, SP, Brasil) e câmera (SC30 Color Câmera CMOS para microscopia óptica, Olympus Optical Ltd. Brasil, São Paulo, SP, Brasil).

Os parâmetros avaliados foram medição da espessura de osso compacto e da relação do percentual de cavidade presente no osso esponjoso. Para a medição da espessura do osso compacto, as fotomicrografias foram capturadas nas extremidades do corte histológico imediatamente abaixo da zona de ossificação. Para a análise do osso esponjoso, capturou-se dez fotomicrografias imediatamente abaixo da zona de ossificação. Em seguida, empregando-se a ferramenta grid no software ImageJ, adicionou-se quadrados de área 10.000  $\mu\text{m}^2$ . As medições foram realizadas medindo-se a área das cavidades presentes no quadrado central de cada fotomicrografia. Para as medições de espessura da zona de repouso e da zona de proliferação foram capturadas imagens na porção central no corte histológico. Para cada parâmetro avaliado, foram realizadas dez medições.

## ***2.6 Coeficientes de digestibilidade de Ca e P***

O experimento foi dividido em dois períodos de coleta de excretas total, sendo o primeiro do 18° ao 21° dia, e o segundo do 37° ao 40° dia de idade das aves. As coletas foram realizadas uma vez ao dia com início às 18 horas, utilizando-se como marcador o óxido férrico, o qual foi fornecido *on top* na ração (até 2%) conforme descrito por Sakomura & Rostagno (2016).

Após cada dia de coleta, as amostras de excretas foram armazenadas em freezer (-20°C) até o último dia do ensaio de metabolismo. Ao final de cada ensaio, foram descongeladas, homogeneizadas e de cada total foi retirado 300 g de amostra por parcela experimental. As amostras foram submetidas à pré-secagem em estufa de ventilação forçada (65°C) por três dias,

posteriormente moídas em moinho tipo faca com peneira 2,0 mm, e armazenadas para realização das análises laboratoriais.

As análises laboratoriais foram realizadas em triplicata e conforme os procedimentos da AOAC (*Association of Official Analytical Chemists*), descrito por Horwitz & Latimer Jr. (2005). As excretas foram analisadas quanto ao teor de Ca (método 927,02) e P total (método 964,06). Após realizadas as análises foram calculados os CD (coeficiente de digestibilidade) de cada mineral aos 21 e 40 dias de idade, por meio da Equação 2:

$$CD_{\text{nutriente}} (\%) = \frac{(\text{nutriente ingerido} - \text{nutriente excretado})}{\text{nutriente ingerido}} \times 100 \text{ (Equação 2)}$$

## ***2.7 Morfometria intestinal***

A histomorfometria de intestino (jejuno) foi avaliada por microscopia de luz de acordo com o método apresentado por Nunez et al. (1996). Após o abate, uma porção de intestino foi retirada e fixada em formalina ao 10%, posteriormente, os tecidos foram cuidadosamente embebidos em parafina e cortados pelo menos em 6 secções de 5 µm de espessura. Em seguida, as amostras foram coradas com hematoxilina e eosina para avaliação histológica. A morfologia do intestino delgado neste estudo incluiu a altura das vilosidades, a profundidade da cripta e a relação cripta/vilo. As medidas da altura das vilosidades da ponta da vilosidade à junção vilosidade-cripta e a profundidade da cripta da junção vilo-cripta ao limite inferior da cripta foram registradas como a média de 15 campos para cada amostra.

## ***2.8 Biodisponibilidade relativa***

Foi realizada a determinação da biodisponibilidade relativa da fonte 25-OHD<sub>3</sub> em relação à vitamina D<sub>3</sub>, utilizando-se a técnica *Slope Ratio*, conforme procedimentos descritos por Litell et al. (1997).

Utilizou-se o consumo de ração dos animais suplementados com de vitamina D ao longo do ciclo de criação como variável independente e as características de mineralização óssea, aos 40 dias, como alvo. A avaliação da mineralização óssea aos 40 dias de idade possibilitou a comparação das duas fontes em estudo, com a relação entre o consumo de vitamina D ao longo do ciclo de produção (variável independente) e a mineralização óssea como variáveis dependentes, estabelecendo como padrão a vitamina D<sub>3</sub>.

Nesse sentido, primeiramente, foram verificados os efeitos e a significância dos diferentes programas. Posteriormente, foi estimada equação de regressão linear múltipla para cada variável (de acordo com a resposta obtida) e compararam-se as fontes (biodisponibilidade) pela relação entre os coeficientes angulares (*Slope Ratio*).

## ***2.9 Análise estatística***

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANAVA) utilizando o pacote estatístico SAS<sup>®</sup> (2002) e, quando necessário para comparar as médias, foi utilizado teste Tukey para as fontes de vitamina e regressão para comparar os seus níveis de inclusão na ração. Foi adotado o nível de 5% de significância.

## ***3 Resultados***

### ***3.1 Desempenho***

Os dados de desempenho de frangos de corte alimentados ou não com suplementação de fontes e níveis de vitamina D na dieta para as fases de 1 a 21, 22 a 40 e 1 a 40 dias de idade, estão apresentados nas tabelas 3,4 e 5, respectivamente.

Para a fase de 1 a 21 dias não houve ( $P>0,05$ ) interação entre fonte e nível de vitamina na dieta, bem como, efeito isolado de fonte e de nível sobre o consumo de ração dos frangos de corte (Tabela 3).

Para o ganho de peso dos frangos de corte houve interação significativa ( $P<0,05$ ) entre as fontes de vitamina D e os níveis de suplementação na dieta (Tabela 3). Ao desdobrar a interação das fontes dentro de cada nível de suplementação, observou-se que para o nível 200 UI/kg houve maior ganho de peso dos frangos alimentados com as fontes de vitamina D semiativa (25-OH-D<sub>3</sub>) em relação a vitamina D<sub>3</sub>. Para o nível 500 UI/kg houve superioridade da fonte B em relação a vitamina D<sub>3</sub> sem, contudo, diferir da fonte A. Para o nível de 2000UI/kg a fonte A foi superior às demais fontes de vitamina D (Tabela 3).

Para conversão alimentar dos frangos de corte houve interação significativa ( $P<0,05$ ) entre as fontes de vitamina D e os níveis de suplementação na dieta. Ao desdobrar a interação das fontes dentro de cada nível de suplementação, observou-se que para o nível 200 UI/kg houve melhor conversão alimentar das aves com as fontes de vitamina D semiativa (25-OH-D<sub>3</sub>) em relação a vitamina D<sub>3</sub>. Para o nível 500 UI/kg houve melhoria da conversão alimentar da fonte B em relação a vitamina D<sub>3</sub> sem, contudo, diferir da fonte A. Para o nível de 2000UI/kg a fonte A apresentou melhor conversão alimentar comparada as demais fontes de vitamina D (tabela 3).

Para a fase de 22 a 40 dias, houve interação significativa ( $P<0,05$ ) entre as fontes de vitamina D e os níveis de suplementação na dieta (tabela 4). Ao desdobrar a interação das fontes dentro de cada nível de suplementação, observou-se que para o nível 200 UI/kg houve menor

consumo de ração para os frangos alimentados com fontes de vitamina D semiativa (25-OH-D<sub>3</sub>), seguido da vitamina D<sub>3</sub>. Para o nível 500 UI/kg houve menor consumo de ração das aves alimentadas com dietas contendo a fonte B em relação a vitamina D<sub>3</sub> sem, contudo, diferir da fonte A.

Para o ganho de peso houve interação significativa ( $P < 0,05$ ) entre as fontes de vitamina D e os níveis de suplementação na dieta (tabela 4). Ao desdobrar a interação das fontes dentro de cada nível de suplementação, observou-se maior ganho de peso dos frangos alimentados com fontes de vitamina semiativa nos níveis de suplementação 1000 UI/kg e 2000 UI/kg, em relação à vitamina D<sub>3</sub>.

Para conversão alimentar houve interação significativa ( $P < 0,05$ ) entre as fontes de vitamina D e os níveis de suplementação na dieta (tabela 4). Ao desdobrar a interação das fontes dentro de cada nível de suplementação, observou-se melhor conversão alimentar dos frangos de corte somente no nível 2000 UI/kg, utilizando as fontes de vitamina D semiativa em relação a D<sub>3</sub>.

Para a fase de 1 a 40 dias houve interação significativa ( $P < 0,05$ ) sobre o consumo de ração entre as fontes de vitamina D e os níveis de suplementação na dieta (tabela 5). Ao desdobrar a interação das fontes dentro de cada nível de suplementação, observou-se menor consumo de ração para fonte B em relação a fonte A. Para os níveis 500 e 2000 UI/kg observou-se menor consumo de ração das aves alimentadas com a fonte B em relação as demais fontes.

Para o ganho de peso houve interação significativa ( $P < 0,05$ ) entre as fontes de vitamina D e os níveis de suplementação na dieta (tabela 5). Ao desdobrar a interação das fontes dentro de cada nível de suplementação, observou-se maior ganho de peso dos frangos alimentados com dietas contendo vitamina D semiativa em relação a vitamina D<sub>3</sub>. Já para os níveis de 1000 e 2000 UI/kg observou-se maior ganho de peso para a fonte B em relação a D<sub>3</sub>.

Para conversão alimentar não foi observado interação significativa ( $P>0,05$ ) entre fonte e nível. Contudo, houve efeito significativo ( $P<0,05$ ) de fonte, sendo que, observou-se melhor conversão alimentar dos frangos alimentados com vitamina D semiativa seguido da  $D_3$ . Com relação ao efeito de nível observou-se ajuste linear para fonte  $D_3$  e ajuste quadrático para as fontes de vitamina D semiativa sobre a conversão alimentar.

### ***3.2 Cálcio e fósforo no soro***

Para a concentração de cálcio e fósforo no soro não houve interação significativa ( $P>0,05$ ) entre fonte e nível (tabela 6). Contudo, houve efeito significativo ( $P<0,05$ ) de fonte aos 21 e 40 dias de idade dos frangos de corte para cálcio, sendo que a maior concentração foi observada para a fonte A. Com relação ao nível houve efeito linear sobre a concentração de cálcio aos 21 dias para a fonte  $D_3$ . Não houve efeito ( $P>0,05$ ) de fonte e de nível sobre a concentração sérica de fósforo aos 21 dias. Houve efeito ( $P<0,05$ ) de fonte para a concentração de fósforo aos 40 dias, com superioridade da fonte A em relação as demais fontes.

### ***3.3 Características ósseas***

Os dados de matéria mineral, Ca e P na tíbia de frangos de corte aos 21 e 40 dias de idade, estão apresentados na tabela 7 e 8, respectivamente.

Não houve interação ( $P>0,05$ ) significativa entre fonte e nível para as características ósseas aos 21 dias (tabela 7).

Para o teor de matéria mineral na tíbia houve efeito ( $P<0,05$ ) do nível de suplementação, sendo que houve ajuste linear somente para a fonte B. Não houve efeito de fonte ( $P>0,05$ ) para o teor de matéria mineral na tíbia.

Para os teores de Ca e P houve efeito ( $P < 0,05$ ) de fonte e nível ( $P < 0,05$ ). Com relação ao efeito de fonte, observou-se que as fontes de vitamina D semiativa apresentaram maiores concentrações de Ca e de P na tíbia dos frangos em relação as aves alimentadas com dietas contendo Vitamina D<sub>3</sub> ( $P < 0,05$ ) (Tabela 7). Para efeito de nível das concentrações de Ca, observou-se efeito linear crescente para as fontes de vitamina D semiativa. Com relação ao efeito de nível para o teor de P na tíbia, observou-se efeito linear crescente para a fonte A e efeito quadrático para a fonte B.

Para a resistência a quebra houve efeito de fonte e de nível ( $P < 0,05$ ). Com relação ao efeito de fonte, observou-se que a suplementação da fonte A na dieta proporcionou maior RA da tíbia em relação aos frangos alimentados com dietas suplementadas com Vitamina D<sub>3</sub> ( $P < 0,05$ ) (Tabela 7). Para o IS houve efeito de fonte ( $P < 0,05$ ), sendo que as fontes de vitamina D semiativa tiveram maior IS em relação a Vitamina D<sub>3</sub> (Tabela 7). Não houve efeito de nível para RA e IS na tíbia dos frangos de corte aos 21 dias ( $P > 0,05$ ).

Não houve interação significativa ( $P > 0,05$ ) entre fonte e nível para as características ósseas aos 40 dias de idade (Tabela 8).

Para os teores de matéria mineral na tíbia aos 40 dias, não houve efeito de fonte e de nível ( $P > 0,05$ ). Com relação ao teor de Ca na tíbia, houve efeito de fonte e de nível ( $P < 0,05$ ). Para fonte, observou-se que a fonte A proporcionou maior concentração de Ca na tíbia dos frangos em relação aos animais alimentados com dietas suplementadas com Vitamina D<sub>3</sub> ( $P < 0,05$ ). Com relação ao nível observou-se ajuste linear crescente para a fonte A, que aumentou os níveis de Ca na tíbia de frangos de corte aos 40 dias de idade, mediante o aumento dos níveis de suplementação na dieta. Para o teor de P na tíbia foi observado efeito ( $P < 0,05$ ) de nível, sendo que houve ajuste linear crescente para a fonte B. Não houve efeito de fonte para os teores de P na tíbia ( $P > 0,05$ ).

Para RA na tíbia não houve efeito de fonte e de nível ( $P>0,05$ ). Para o IS observou-se somente efeito de nível ( $P<0,05$ ) com ajuste quadrático para a fonte B. Não houve efeito de fonte ( $P>0,05$ ) para IS aos 40 dias.

### ***3.3 Análise morfométrica do tecido ósseo***

Os dados de análise morfometria na tíbia de frangos de corte aos 40 dias estão apresentados na tabela 9.

Para a porcentagem de osso compacto na tíbia houve interação significativa ( $P<0,05$ ), sendo que houve superioridade da D<sub>3</sub> em relação a fonte A para o nível de 2000 UI/kg.

Para a área de osso esponjoso houve efeito de fonte com maior área para a fonte A seguida da fonte B e D<sub>3</sub>.

### ***3.4 Digestibilidade de Ca aos 21 e 40 dias***

Os dados de digestibilidade aparente de Ca aos 21 e 40 dias de idade estão apresentados na tabela 10.

Não houve efeito de fonte, de nível e interação fonte e nível de suplementação de fontes de vitamina D sobre a digestibilidade de fósforo aos 21 e 40 dias de idade ( $P>0,05$ ).

Não houve interação significativa ( $P>0,05$ ) sobre a digestibilidade aparente de cálcio e aos 21 e 40 dias de idade dos frangos de corte. No entanto, houve efeito de fonte ( $P<0,05$ ), sendo que a fonte B obteve maior digestibilidade de cálcio aos 21 dias. Aos 40 dias de idade observou-se maior digestibilidade aparente de cálcio para as fontes de vitamina D semiativa em relação a vitamina D<sub>3</sub>. Com relação ao efeito de nível, observou-se efeito linear para todas as fontes em estudo nas idades de 21 e 40 dias.

### ***3.5 Morfometria intestinal***

Os dados de morfometria intestinal aos 21 e 40 dias de idade dos frangos de corte estão apresentados na tabela 11.

Houve interação significativa ( $P < 0.05$ ) para altura de vilosidades, profundidade de cripta e relação vilo/cripta aos 21 e 40 dias de idade.

Aos 21 dias, as alturas de vilosidades no nível de 200 UI/kg a fonte A foi superior as demais fontes. No nível de 500 UI/kg houve superioridade da fonte Bem relação a fonte A. No nível 1000 UI/kg a fonte B foi superior a D<sub>3</sub> e a fonte A, enquanto que no nível 2000 UI/kg a fonte B foi inferior as demais fontes.

Para a profundidade de cripta, somente no nível 200 UI/kg houve diferença significativa ( $P < 0,05$ ) entre as fontes, sendo que, a fonte A foi superior as demais fontes.

A relação vilo/cripta aos 21 dias de idade dos frangos de corte, no nível 200 UI/kg e no nível 1000/kg a fonte A foi superior as demais fontes. Contudo, no nível 500 e 2000 UI/kg a fonte B foi superior as demais fontes.

Aos 40 dias de idade de frangos de corte, para altura de vilosidade, no nível 200 UI/kg a fonte D<sub>3</sub> foi superior as demais. Para o nível 500 UI/kg as fontes D<sub>3</sub> e a fonte A foram superiores a fonte B. Para o nível 1000 UI/kg a fonte A foi superior a fonte B e para o nível 2000 UI/kg a fonte B foi superior as demais fontes.

Para profundidade de cripta observou-se que no nível 200 UI/kg a fonte B foi superior a fonte A. No nível de 500 UI/kg a D<sub>3</sub> foi superior as demais fontes. No nível de 1000 UI/kg a fonte A foi superior a fonte B e para o nível 2000 UI/kg a fonte B foi superior as demais fontes.

Para a relação vilo/cripta observou-se que no nível 200 UI/kg a fonte B foi superior a fonte D<sub>3</sub>, enquanto que no nível 500 UI/kg a D<sub>3</sub> foi superior as demais fontes.

### ***3.6 Rendimento de carcaça e cortes***

Os dados de rendimento de carcaça e cortes estão apresentados na tabela 12.

Não houve efeito de fonte, de nível e interação fonte e nível de suplementação de fontes de vitamina D sobre o rendimento de carcaça e cortes dos frangos de corte abatidos aos 40 dias de idade ( $P>0,05$ ).

### ***3.7 Biodisponibilidade relativa***

Utilizando-se a técnica da abscissa (Gillis, 1954), estimou-se o valor relativo dos tratamentos adicionais com fontes de vitamina D semiativa, considerando as equações lineares simples para ganho de peso, cálcio e fósforo no sangue, cálcio na tibia e digestibilidade de cálcio.

Os resultados de biodisponibilidade relativa de ganho de peso na fase de 1-40 dias estão apresentados na Tabela 13.

Considerando o ganho de peso, verifica-se que as fontes de vitamina D semiativa apresentam maiores biodisponibilidade comparada com a fonte  $D_3$ .

Os resultados de biodisponibilidade relativa do cálcio no sangue para as fases de 21 e 42 dias estão apresentadas na Tabela 14.

Considerando a concentração de cálcio no sangue, verifica-se que as fontes da vitamina D semiativa apresentam biodisponibilidade para absorção deste macromineral, maior do que a fonte tradicionalmente usada. Entre as vitaminas semiativas, a fonte A apresentou valores maiores de biodisponibilidade ( $P<0,05$ ).

Os resultados de biodisponibilidade do cálcio aos 21 e 42 dias com base nas análises na tíbia estão apresentados na Tabela 15. Semelhante aos resultados de cálcio no sangue, os valores de biodisponibilidade considerando a análise de cálcio nas tíbias, as vitaminas semiativas foram superiores, sendo que a fonte A resultou em maiores valores.

Estes resultados indicam que a fonte A apresenta maior efetividade no processo de absorção e formação óssea nos frangos de corte.

As biodisponibilidades relativas do cálcio com base na digestibilidade deste mineral aos 21 dias estão apresentadas na Tabela 16. Os valores de biodisponibilidade foram de 113 e 111% para as fonte A e B, respectivamente. Estes resultados confirmam os anteriores apresentados nas tabelas 14 e 15 onde as vitaminas semiativas foram superiores a forma D<sub>3</sub>. Os resultados baseados nas análises de tíbias, sangue e digestibilidade do cálcio confirmam a sequência de valores crescentes para a bioeficácia, sendo a D<sub>3</sub> seguida da fonte B e Fonte

#### ***4 Discussão***

A suplementação de 25-OH-D<sub>3</sub> durante todo o período experimental, promoveu maior ganho de peso, menor consumo de ração e obteve uma melhoria na conversão alimentar dos frangos de corte devido a forma semiativa de vitamina D<sub>3</sub> ser metabolicamente mais potente por unidade comparada a vitamina D<sub>3</sub> (FRITTS et al., 2003; SAKKAS et al., 2019).

A melhoria no desempenho dos frangos de corte devido à suplementação das fontes de vitamina D semiativa, pode ser explicada pelo menor gasto energético já que as mesmas possuem apenas mais uma reação de hidroxilação para serem convertidas em 1,25(OH)D<sub>3</sub>. Portanto, a energia que seria utilizada para a conversão da Vitamina D<sub>3</sub> na sua forma ativa é destinada para se ter melhores índices zootécnicos em frangos de corte de alto potencial genético. Além disso, pelo fato da 25OHD<sub>3</sub> não ser tóxica como a 1,25(OH)2D<sub>3</sub> ela pode se

manter em níveis circulantes no sangue atingindo as células alvo (intestino, rins e ossos) com maior eficácia. No entanto, não funciona como reserva no organismo das aves, devendo, portanto, ser suplementada de forma contínua na dieta.

De maneira semelhante ao observado no presente estudo, Fritts et al., (2003) e Fritts e Waldrup (2005) concluíram que a inclusão de 25-OH-D<sub>3</sub> em dietas para frangos de corte aumentou o ganho de peso de frangos de corte comparado às aves que receberam vitamina D<sub>3</sub>. Rama Rao et al. (2006) verificaram além de aumento no ganho de peso, melhoria na conversão alimentar dos frangos de corte na fase inicial (1 a 21 dias), ao suplementarem dietas, reduzidas em cálcio (0,50%) e fósforo disponível (0,25%), com 2.400 UI/kg e 3.600 UI/kg de vitamina D<sub>3</sub>, em detrimento de níveis de suplementação menores (5 e 30 µg/kg). Já Han et al. (2013) observaram aumento de ganho de peso de frangos de corte na fase de 1 a 21 dias com a suplementação de 5 µg/kg de 1αOHD<sub>3</sub> em dietas com redução de cálcio (0,50%) e de fósforo disponível (0,25%).

Garcia et al. (2013) avaliaram diferentes fontes de vitamina D (D<sub>3</sub>, 25-OH-D<sub>3</sub>, 1,25 OH<sub>2</sub>-D<sub>3</sub> e 1α-OH-D<sub>3</sub>) nos níveis de 2000 e 1600 UI/kg para as fases de 1 a 21 e 22 a 42 dias de idade em dietas para frangos de corte e não observaram efeito no desempenho produtivo em ambas as fases de criação. Bozkurt et al. (2017) não observaram melhora no ganho de peso aos 10, 24 e 38 dias quando utilizaram a 25-OH-D<sub>3</sub> (18,7-15,0 µg/kg de 25-OH-D<sub>3</sub>) como fonte de vitamina D. Castro et al. (2018) avaliaram níveis de vitamina D<sub>3</sub>, 2500/2000 UI/kg (1 a 21 dias) e 1250/1000 UI/kg (22 a 40 dias) com ou sem adição de metabólicos 0,5 µg de 1,25 OH<sub>2</sub>-D<sub>3</sub>. Esses autores concluíram que a redução dos níveis de vitamina D<sub>3</sub> em 50%, com ou sem a adição de outra fonte de vitamina, fornecem a quantidade necessária de vitamina D<sub>3</sub> para adequado desempenho dos frangos de corte em relação ao padrão da linhagem Cobb 500. Tizziani et al. (2019) também não observaram efeito no desempenho de frangos de corte alimentados com vitamina D<sub>3</sub> e 25-OH-D<sub>3</sub> em dietas reduzidas em até 30% de cálcio.

As divergências entre os resultados observados variam conforme aspectos relacionados aos seguintes fatores: fonte e dose de vitamina D<sub>3</sub>, nível mineral da dieta, genética, estado nutricional, status sanitário, idade das aves e condições experimentais em que os estudos foram realizados.

De maneira geral, quando foram utilizados níveis recomendados de cálcio e de fósforo disponível (MITCHEL et al., 1997; HANG et al., 1997; BAKER et al., 1998; EDWARDS JÚNIOR, 2002; FRITTS; WALDROUP, 2005; HSIAO et al., 2018), não foram observados efeitos sobre o desempenho de frangos de corte alimentados com dietas contendo diferentes níveis de vitamina D. Por outro lado, estudos (RAMA RAO et al., 2006; BRITO et al., 2010; HAN et al., 2016) em que foram utilizadas dietas reduzidas em cálcio e fósforo disponível associados com altos níveis de suplementação de vitamina D<sub>3</sub> e de 25(OH)D<sub>3</sub>, foram observados efeitos, principalmente, na melhoria da conversão alimentar dos frangos de corte.

As concentrações séricas de cálcio e de fósforo observados no presente estudo encontram-se dentro dos limites normais preconizados para aves saudáveis de 8 a 12 e de 5 a 7 mg/dL, respectivamente (THRALL et al., 2004). De acordo com Capitelli e Costa (2013) níveis séricos de cálcio acima de 11 mg/dL podem estar associados com hipervitaminose D. No entanto, comercialmente tem sido adotado níveis de até 5000 UI/kg de vitamina D<sub>3</sub>, sobretudo em frangos de corte criados com privação de luz solar e em matrizes pesadas, sem ocasionar danos metabólicos as aves. Com relação aos níveis de fósforo, estes variam menos no sangue dos animais uma vez que a sua concentração está relacionada aos mecanismos de excreção e reabsorção renal e no controle da calcemia.

O aumento da concentração sérica de cálcio quando se utilizou a vitamina D<sub>3</sub> na dieta pode ter ocorrido em razão de um provável aumento da hidroxilação de 25-OH-D<sub>3</sub> em 1,25-(OH)<sub>2</sub>-D<sub>3</sub> nos rins (Henry 2011). Assim, esse possível aumento da hidroxilação, em razão da ação positiva do 1,25-(OH)<sub>2</sub>-D<sub>3</sub> na mineralização óssea, estaria consistente com o fato de que

a concentração sérica de cálcio ter apresentado maior valor absoluto nos frangos alimentados com vitamina D<sub>3</sub>.

Semelhante ao observado no presente estudo, Aburto et al. (1998) ao suplementarem vitamina D<sub>3</sub> e 25-OHD<sub>3</sub> na dieta de frangos de corte, observaram que níveis entre 20 e 80 µg dessas fontes aumentaram o teor de cálcio e fósforo sanguíneo e ainda confirmaram a efetividade da 25-OHD<sub>3</sub> sobre a vitamina D<sub>3</sub>. Rama Rao et al. (2006) avaliaram diferentes níveis de vitamina D<sub>3</sub> na dieta de frangos de corte e também observaram aumento do nível sérico de cálcio devido ao aumento da concentração da vitamina D<sub>3</sub> na ração.

Kan et al. (2010) ao avaliarem os efeitos dos níveis de suplementação (200, 1.500, 2.500 e 3.500 UI/kg) de colecalciferol (vitamina D<sub>3</sub>) em rações para frangos de corte, relataram que as concentrações de cálcio e fósforo no plasma das aves aos 21 e 42 dias de idade, aumentaram progressivamente devido ao aumento do nível de suplementação de colecalciferol em ambas as idades.

Rennie, Whitehead e Thorp (1993) também não observaram diferenças nos níveis séricos de frangos alimentados com rações suplementadas com formas de vitamina D.

O desenvolvimento ósseo está diretamente ligado ao crescimento animal. Em frangos de corte, a taxa metabólica para a maturação do tecido ósseo é acentuada até os 21 dias de idade das aves. Porém, em condições de deficiência de cálcio e de fósforo na dieta, a ossificação serve como uma reserva metabólica quando houver alterações na homeostase desses minerais.

As respostas de mineralização óssea em função da suplementação de vitamina D dependem de alguns fatores, como linhagem utilizada, ambiente de criação (luz, piso, gaiolas) e concentração de elementos envolvidos metabolicamente com a vitamina D (lipídios, cálcio, fósforo, vitamina A, C e E).

Os efeitos do 25-OH-D<sub>3</sub> podem variar dependendo da resposta biológica com baixa ou alta eficiência de acordo com a característica avaliada. Segundo Ledwaba e Roberson (2003)

em baixos níveis de cálcio (0,67%) na dieta, o 25-OH-D<sub>3</sub> (70 mcg/kg) parece ser mais eficaz do que em níveis adequados de cálcio.

As fontes semiativas apresentaram maiores concentrações de Ca e P na tíbia de frangos de corte aos 21 e 40 dias de idade comparada às aves alimentadas com dietas contendo vitamina D<sub>3</sub>.

No presente estudo foi possível identificar a superioridade das fontes 25-OHD<sub>3</sub> em relação à vitamina D<sub>3</sub> com relação ao teor de cinzas e de cálcio na tíbia. Os programas com menores níveis de suplementação de vitamina D geraram menores valores e os programas com maiores níveis de suplementação de vitamina D semiativa, apresentaram maiores valores em diferentes fases de criação.

Estes resultados corroboram com Sakkas et al. (2019) que avaliaram diferentes dosagens de vitamina D<sub>3</sub> (1000, 4000 e 7000 UI) com substituição parcial de 25-OH-D<sub>3</sub> (1000 UI D<sub>3</sub> + 3000UI 25-OH-D<sub>3</sub>) e verificaram melhorias consistentes na mineralização óssea na tíbia no final do período de crescimento de frangos de corte.

De forma semelhante ao observado no presente estudo, Fritts e Waldroup (2003) encontraram maior teor de cinzas ósseas na tíbia e menor severidade de discondroplasia tibial para as aves alimentadas com 25-OH-D<sub>3</sub>. Esses resultados sugerem que as necessidades suplementares de vitamina D<sub>3</sub> podem ser menores com o uso durante todo o período de criação do metabólito 25-OH-D<sub>3</sub> nas rações.

A densidade óssea, denotada pelo índice de Seedor (IS) é também diretamente relacionada à resistência a quebra que por sua vez foi alterada nas fases de criação avaliadas. Tal fato indica maior eficiência de aproveitamento das fontes semiativas nos níveis mais altos de suplementação, resultando no mais uniforme preenchimento da matriz orgânica óssea e, conseqüentemente, conferindo maior resistência a quebra da tíbia. Vieites et al. (2016) observaram que a adição do metabólito da vitamina D nas mesmas quantidades das avaliadas

nesse estudo afetou, de forma quadrática decrescente, o IS dos ossos de frangos de corte machos, que foi de 142,55 (aos 35 dias), com suplementação de 1,53  $\mu\text{g}$  da  $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$  suplementar/kg de ração, sendo essa dose a mais indicada para a manutenção da qualidade óssea.

No presente estudo foi detectado aumento da área de osso compacto com a suplementação de vitamina  $\text{D}_3$  comparada a fonte de  $25\text{OHD}_3$ , somente para o nível de 2000 UI/kg, enquanto que para a área de osso esponjoso houve superioridade das fontes de  $25\text{OHD}_3$  em relação a vitamina  $\text{D}_3$ . Do ponto de vista morfológico, a forma compacta (cortical) e a esponjosa (trabecular) constituem-se como base para a formação óssea. Basicamente, o osso compacto tem função mecânica e protetiva, ao passo que o osso esponjoso possui função metabólica (Florencio-Silva et al., 2015). A mobilização dos íons de cálcio e fósforo dos cristais de hidroxiapatita para o líquido intersticial acontece no osso esponjoso sendo este mais eficaz em manter a calcemia do que o osso de estrutura compacta (Krishnamoorthy et al., 2016). Já a mobilização de cálcio e fósforo da matriz orgânica do osso mediada pelos hormônios (PTH e calcitonina) e metabólitos ( $1,25\text{OH}_2\text{D}_3$ ) acontecem no osso compacto, contudo este mecanismo é mais lento. No entanto, ambas as formas conferem estrutura e modelagem para as funções mecânicas dos ossos. Assim, pode-se inferir que na suplementação de fontes de  $25\text{OHD}_3$  em dietas para frangos de corte ocorre aumento da capacidade de troca rápida de cálcio e fósforo para a regulação da calcemia, sem ocorrer efeito nos parâmetros de calcificação da tíbia.

Vale ressaltar que os frangos de corte no presente estudo, foram criados em gaiolas metabólicas de forma que não tiveram o mesmo “estresse” físico do que se fossem criados em cama. Apesar de ter sido respeitado a área por animal recomendada pelos preceitos éticos de pesquisa, na cama os animais poderiam ter mais comportamentos etológicos inerentes a espécie como ciscar, revolver a cama e ter a maior locomoção em toda a área disponível. De acordo com Macari e Maiorka (2017) o maior estresse mecânico no tecido ósseo promove

aumento do fluxo extracelular nos canículos entre a matriz óssea, bem como na tensão provocada na superfície dos osteócitos para regulação do metabolismo ósseo.

Além das formas compacta e esponjosa nos ossos, existem as diferentes zonas (reserva, proliferação, maturação e hipertrófica) (PIZAURO JR et al., 2002), com respectivas funções atuando diretamente nos processos de calcificação óssea e formação de hidroxiapatita. Devido a isso, para se ter maior assertividade em relação aos processos de calcificação óssea e sua correlação com a incidência de problemas locomotores, como a discontroplasia tibial e a osteopenia por exemplo, torna-se necessária a quantificação dessas zonas, associado às formas compacta e esponjosa, para avaliar a sincronia de formação óssea mediada pela suplementação de diferentes fontes e níveis de vitamina D<sub>3</sub>.

As respostas benéficas verificadas com a utilização das fontes semiativas podem estar associadas a uma melhor relação entre a disponibilidade dos nutrientes (particularmente cálcio e fósforo) e seu tempo de retenção, ou seja, as principais fontes inorgânicas destes dois elementos poderiam disponibilizá-los mais rapidamente (solubilização/ionização) para absorção e ação da fonte mais ativa de vitamina D (25-OHD<sub>3</sub>).

Semelhante ao observado no presente estudo, Thabet et al. (2009) observaram maior retenção de cálcio em aves suplementadas com Vitamina D<sub>3</sub> em relação a utilização de vitamina D semiativa. De forma semelhante, Brito et al. (2009) também observaram melhor retenção de cálcio em frangos de corte alimentados com dietas suplementadas com a associação das duas formas (25-OH-D<sub>3</sub> e vitamina D<sub>3</sub>) em comparação à suplementação com vitamina D<sub>3</sub> isolada.

O desenvolvimento das células intestinais pode ser metabolicamente afetado pelas fontes e pelo nível de suplementação das vitaminas lipossolúveis. Tal fato, pode resultar na maior ou menor absorção da vitamina D dietética. No jejuno, a absorção de vitamina D é passiva, de modo que a 1,25-(OH)<sub>2</sub>-D<sub>3</sub> estimula a expressão de paracelinas, proteínas

intercelulares que formam canais por onde o cálcio é transferido passivamente por gradiente de concentração (CASTRO, 2011).

Provavelmente, a melhora na relação vilo/cripta dos frangos de corte observada devido à suplementação das vitaminas semiativas aos 21 dias pode ter ocorrido devido ao aumento de eficiência deste metabólito na ativação de enzimas que atuam na regulação do desenvolvimento de mucosa intestinal.

Aos 40 dias de idade nos níveis mais baixos de suplementação de vitamina D, a profundidade de cripta e a altura de vilo foram maiores para os animais suplementados com a fonte de vitamina D<sub>3</sub>. Certamente, isso se deve ao fato dos níveis reduzidos de cálcio e fósforo disponível na dieta, resultando no aumento e na proliferação celular para a maior captação e absorção de nutrientes para suprir a deficiência desses minerais.

Nos níveis mais altos de suplementação de vitamina D, as fontes semiativas resultaram em melhoria nos parâmetros relacionados à qualidade intestinal, possivelmente, pela redução do gasto energético para a transformação dessas fontes e vitamina D ativa. Assim, um aumento nas vilosidades intestinais e na profundidade de cripta está relacionado a um importante papel da vitamina D no desenvolvimento morfológico e funcional do intestino e no aumento da taxa de renovação celular.

Outro ponto importante é que ao longo de todo o trato gastrointestinal existem receptores para vitamina D que são de extrema importância para a absorção de cálcio e fósforo, porém estudos sugerem que estes receptores atuam também no desenvolvimento da mucosa intestinal. Isto porque estão localizadas em concentrações mais elevadas próximos a locais em que ocorrem maior diferenciação e proliferação celular no intestino, sugerindo sua atuação no desenvolvimento, integridade, homeostase e saúde intestinal (KLASING 2006, RINER et al. 2008, ZANUZZI et al. 2011).

Os animais alimentados com  $1\alpha(\text{OH})\text{D}_3$ , apresentaram intestinos mais pesados, porém menores comprimentos de vilos em comparação ao  $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ , sugerindo que o  $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$  pode ter acarretado em menor demanda energética e maior absorção de nutrientes (CHOU et al.2009).

A vitamina D participa da regulação do crescimento, volume, massa, tônus e força muscular, a partir de ações genômicas e não genômicas. De acordo com Hutton et al. (2014) a suplementação de  $25\text{-OH-D}_3$  estimula a atividade de células satélites do músculo *pectoralis major* da ave com aumento do rendimento muscular devido a maior hiperplasia das fibras musculares. Além disso, pode ocorrer aumento da síntese muscular através da estimulação da via mTOR (VIGNALE et al., 2015), que por sua vez atuam na síntese proteica, induzindo a expressão de proteínas que participam da tradução do RNA mensageiro (CASTRO, 2011). No entanto, no presente estudo não foi observado efeito da suplementação de fontes e níveis de vitamina D sobre o rendimento de carcaça e cortes.

Semelhante ao observado no presente estudo, Brito et al. (2010) não observaram efeito da associação de vitamina  $\text{D}_3$  e de  $25\text{OHD}_3$  sobre o rendimento de carcaça e cortes. Vieites et al. (2014) também não encontraram diferença para o rendimento de carcaça, peito e asas, em frangos de corte machos suplementados com diferentes níveis de 25-hidroxicolecalciferol/kg na dieta. Similarmente, ao estudarem dois níveis de suplementação de vitamina D provenientes de  $\text{D}_3$  e  $25\text{-OH-D}_3$ , para frangos de corte, Mesquita et al. (2012) não encontraram diferenças para rendimento de carcaça. Tizziani et al. (2019) também não observaram efeito da suplementação de vitamina  $\text{D}_3$  e de  $25\text{OHD}_3$  associado a redução de cálcio na dieta, sobre o rendimento de carcaça e cortes de frangos de corte.

A ausência de efeito observado no presente estudo, se deve ao fato de que as dietas foram isonutrientes, com exceção dos níveis de cálcio e de fósforo disponível. Neste sentido, as aves tiveram seus requerimentos nutricionais atendidos, principalmente, em energia

metabolizável, proteína bruta e nos aminoácidos primordiais para a formação do tecido muscular. Outro fator, que pode estar a ausência de efeito se deve ao fato de que nos estudos em que foram identificados efeitos no rendimento de carcaça e cortes, sobretudo no peito, verificou-se maiores níveis de inclusão de vitamina D<sub>3</sub> e de seus metabólitos.

A avaliação da biodisponibilidade relativa comprovou maior eficácia das fontes de 25-OHD<sub>3</sub> em relação a vitamina D<sub>3</sub> em aumentar a mineralização óssea no que concerne às cinzas e ao fósforo nas tíbias. Estes resultados corroboram aos encontrados por Atencio et al. (2005), que verificaram biodisponibilidade relativa da fonte 25-OHD<sub>3</sub> em 111%, quando avaliaram as cinzas ósseas de pintinhos aos 10 dias de idade, originários de matrizes pesadas alimentadas com esta fonte, em comparação com a vitamina D<sub>3</sub>, utilizada como padrão. Em nosso estudo, a biodisponibilidade relativa das fontes de 25OHD<sub>3</sub> foram maiores aos observados por Atencio et al. (2005) devido ao fato de que na fase inicial os frangos requerem maiores quantidades de vitamina D, cálcio e fósforo na dieta para a formação, modelagem e estabelecimento da reserva óssea.

Han et al. (2016) observaram biodisponibilidade reativa da fonte 25-OHD<sub>3</sub> em 185% quando avaliaram o ganho de peso na fase de 1 a 21 dias de idade, em comparação com a vitamina D<sub>3</sub>, utilizada como padrão. As divergências encontradas entre os podem estar associadas à fase de avaliação, que para o nosso estudo foi de 1 a 40 dias, origem da fonte de 25OHD<sub>3</sub> e níveis de cálcio (0,520%) e fósforo disponível (0,250%) adotados por Han et al. (2016).

A diferença entre os valores de biodisponibilidade relativa entre fontes de 25OHD<sub>3</sub> utilizadas em nosso estudo, pode estar associada a aspectos como: peso molecular, concentração por unidade de vitamina na mesma base equimolar, forma de fabricação e possível atividade de fitase.

## **5 Conclusão**

A partir dos resultados observados pode-se concluir que existem diferenças em relação a biodisponibilidade relativa entre as fontes de vitamina D<sub>3</sub> e 25OHD<sub>3</sub> para as características ósseas e de desempenho, sendo que as fontes de vitamina D semiativa tiveram maior valor. De forma geral, níveis mais baixos de suplementação de vitamina D semiativa promoveu melhorias no desempenho e nas características ósseas, enquanto que em níveis mais elevados os efeitos das fontes se igualaram para algumas características. Independentemente da fonte de vitamina D suplementada na dieta, ficou evidenciada a sua importância com relação aos efeitos positivos no desempenho, na mineralização óssea e na morfometria intestinal. Portanto, para as fases de 1 a 21, 22 a 40 e de 1 a 40 recomenda-se a suplementação de 200, 2000 e 1000 UI/kg e de 500, 2000 e 2000 UI/kg para as fontes de 25OHD<sub>3</sub> e vitamina D<sub>3</sub>, respectivamente

## **Referências bibliográficas**

Aburto, A.; Edwards, J. R., Britton, W. M.; The influence of Vitamin A on the utilization and amelioration of toxicity of cholecalciferol, 25-hydroxycholecalciferol, and 1,25-dihydroxycholecalciferol in young broiler chickens. **Poultry Science**, v. 77, p. 585-593, 1998.

Ahmad, A., Khan, A., Manzoor, N., Khan, L.A., 2010. Evolution of ergosterol biosynthesis inhibitors as fungicidal against *Candida*. **Microb. Pathog.** 48, 35e41, 2010.

Atencio, A.; Edwards Junior, H. M.; Pesti, G. M. Twenty-five hydroxycholecalciferol as a cholecalciferol substitute in broiler breeder hen diets and its effect on the performance and general health of the progeny. **Poultry Science**, Champaign, v. 84, n.8, p. 1277-1285, Aug. 2005

Bozkurt, M.; Yalçın, S.; Koçer, B.; Tüzün, A. E.; Akşit, H.; Özkan, S.; Uygun, M.; Ege, G.; Güven, G.; Yildiz, O. Effects of enhancing vitamin D status by 25-hydroxycholecalciferol

supplementation, alone or in combination with calcium and phosphorus, on sternum mineralisation and breast meat quality in broilers. **British Poultry Science**, 2017.

Brito, J. A. G. et al. Efeito da vitamina D3 e 25-hidroxi-colecalciferol sobre o desempenho, o rendimento de carcaça e a morfologia intestinal de frangos de corte<sup>1</sup>. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 39, n. 12, p. 2656- 2663, 2009.

CAPITELLI, R.; CROSTA, L.. Overview of psittacine blood analysis and comparative retrospective study of clinical diagnosis, hematology and blood chemistry in selected psittacine species. *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice*, Texas, v. 16, n. 1, p. 71–120, 2013.

Castro F. L. S.; Baião, N.C.; Ecco, R.; Jefferson, M.; Louzada, Q.; Melo, E.F.; Saldanha, M.M.; M. V. Triginelli, M.V.; Lara, L.J.C. Effects of 1,25- dihydroxycholecalciferol and reduced vitamin D3 level on broiler performance and bone quality. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 47:e 20170186, 2018.

Castro, L.C.G. O sistema endocrinológico vitamina D. **Arquivo Brasileiro de Endocrinologia e Metabolismo**. v.55, n.8, p. 566-575, 2011.

Chou, S, H.; Chung, T. K.; Yu, B. Effects of supplemental 25-hydroxycholecalciferol on growth performance, small intestinal morphology, and immune response of broiler chickens. **Poultry Science**, Champaign, v 88, n. 11, p 2333-2341, Nov. 2009.

Ding B.A., Pirone A. & Lenzi C. Effect of hen diet supplemented with 25-OH-D3 on the development of small intestinal morphology of chick. **J. Anim. Feed Sci.** 20:420-431. 2011.

Edwards Júnior, H. M. Studies on the efficiency of cholecalciferol and derivatives for stimulating phytate utilization in broilers. **Poultry Science**, Champaign, v. 81, n. 7, p. 1026–1031, July 2002.

FLORENCIA-SILVA, R.; SASSO, G.R.S.; SASSO-CERRI, E.; SIMÕES, M.J.; CERRI, P.S. Biology of bone tissue: structure, function, and factors that influence bone cells. *BioMed Research International* Volume 2015, Article ID 421746, 17 pages

<http://dx.doi.org/10.1155/2015/421746>

Fritts, C. A.; Waldroup, P. W. Comparison of cholecalciferol and 25-hydroxycholecalciferol in broilers diets designed to minimize phosphorus excretion. **Journal Applied Poultry Research**, Savoy, v. 14, n. 1, p.156-166, 2005.

Fritts, C.A.; Waldroup, P.W. Effect of source and level of vitamin D on live performance and bone development in growing broilers. **Journal Applied Poultry Research**, v.12, p. 45-52, 2003.

Garcia, A. F. Q. M.; Murakami, A. E.; Amaral Duarte, C. R.; Rojas, I. C. O. R.; Picoli, K. P.; Puzotti, M. M. Use of vitamin D3 and its metabolites in broiler chicken feed on performance, bone parameters and meat quality. **Asian Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 26, p. 408-415, 2013.

HAN, J.C.; CHEN, G.H.; WANG, J.G.; ZHANG, J.L.; QU, H.X.; ZHANG, C.M.; YAN, Y.F.; CHENG, Y.H. Evaluation of relative bioavailability of 25-hydroxycholecalciferol to cholecalciferol for broiler chickens. *Asian Australian Journal of Animal Sciences* Vol. 29, No. 8 : 1145-1151, 2016.

HAN, J.C.; CHEN, G.H.; WANG, J.G.; ZHANG, J.L.; QU, H.X.; ZHANG, C.M.; YAN, Y.F.; CHENG, Y.H. Evaluation of relative bioavailability of 25-hydroxycholecalciferol to cholecalciferol for broiler chickens. **Asian Australian Journal of Animal Sciences** Vol. 29, No. 8 : 1145-1151, 2016.

HAN, J.C.; QU, H.X.; WANG, J.Q.; YAO, J.H.; ZHANG, C.M.; YANG, G.L.; CHENG, Y.H.; DONG, X.S. The effects of dietary cholecalciferol and 1 $\alpha$ -hydroxycholecalciferol levels in a calcium- and phosphorus-deficient diet on growth performance and tibia quality of growing broilers. **Journal of Animal and Feed Sciences**, 22, P. 158–164, 2013.

Henry HL. Regulation of vitamin D metabolism. *Best Practice & Research. Clinical Endocrinology & Metabolism* 2011; 25(4):531-541.

HSIAO FSH, CHENG YH, HAN JC, CHANG MH, YU YH. Effect of vitamin D<sub>3</sub> metabolites on intestinal calcium homeostasis-related gene expression in broiler chickens. **Revista Brasileira de Zootecnia** 2018; 47:e20170015.

Hutton, K. C.; Vaughn, M. A.; Litta, G.; Turner, B. J.; Starkey, J. D. Effect of vitamin D status improvement with 25-hydroxycholecalciferol on skeletal muscle growth characteristics and satellite cell activity in broiler chickens. **Journal of Animal Science**, v. 92, p. 3291-3299, 2014.

Klasing, K.C. Micronutrient supply: influence on gut health and immunity, p.210-223. In: Ibid. (Ed.), Avian Gut Function in Health and Disease. CABI **International, Cambridge**, 2006.

Ledwaba, M. F.; Roberson, K. D. Effectiveness of twenty-five-hydroxycholecalciferol in the prevention of tibial dyscondroplasia in Ross cockerels dependo n dietary calcium level. **Poultry Science**. v. 82, p. 1769-1777, 2003.

MA. Riner K., Boos A., Hässig M. & Liesegang A. Vitamin D receptor distribution in intestines of domesticated sheep *Ovis ammon f. aries*. **J. Morphol.** 269:144-152. 2008.

Rama Rao, P. V. S., Tulasi Ram, S., Gopi Krishna, S., Niranjana, K., and Prasad, D. S. V. V. D.: Morphological and Spectral Characteristics of L-band and VHF scintillations and their impact on trans-ionospheric communications, **Journal of Earth Planets and Science**, in press, 2006.

Rennie, J. S.; Whitehead, C. C.; Thorp, B. H. the effect of dietary 1,25-dihydroxycholecalciferol in preventing tibial dyschondroplasia in broilers fed on diets imbalanced in calcium and phosphorus. **British Poultry Science**, Abingdon, v.69, p. 809-816, 1993.

Sakkas P, Oikeh I, Blake DP, et al. Does selection for growth rate in broilers affect their resistance and tolerance to *Eimeria maxima*? **Vet Parasitol** 258, 88 – 98. 2018.

Sakomura, N. K. & Rostagno, H. S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. 2. ed. Jaboticabal: Sakomura, NK, 262 p. 2016.

Seedor, J.G., Quarruccio, H.A. & Thompson, D.D. The biophosphonate alendronate (MK-217) inhibits bone loss due to ovariectomy in rats. **Journal of Bone and Mineral Research**, 6, 339-346. 1991.

Thabet, H. A. et al. Effect of high levels of cholecalciferol on performance, some blood constituents, bone quality and mineral retention in broiler chicks fed low levels of calcium and phosphorus. **Journal Agriculture Science**, Mansoura, v. 34, n. 12, p. 11011-11020, 2009.

THRALL M. A.; BAKER, D. C.; CAMPBELL, T. W. et al. *Veterinary Hematology and Clinical Chemistry*. Lippincott: Williams & Wilkins, 2004. 618p.

Tizziani T, Donzele RFMO, Donzele JL, Silva AD, Muniz JCL, Jacob RF, Brumano G, Albino LFT. Reduction of calcium levels in rations supplemented with vitamin D3 or 25-OH-D3 for broilers. *Revista Brasileira de Zootecnia* 2019; 48:e20180253.

Vieites, F. M.; Nalon, R. P.; Santos, A. L. Desempenho, rendimento de carcaça e cortes nobres de frangos de corte alimentados com rações suplementadas com *Solanum glaucophyllum*. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 35, n. 3, p. 1617-1626, 2014.

Vieites, F.M.; Drosghic, L.C.A.B.; Souza, C.S.; Lima, C.A.R.; Moraes, G.H.K.; Nunes, R.V.; Vasconcellos, C.H.F.; Vargas Júnior, J.G. 1,25-dihidroxitamina-D3 sobre as características ósseas de frangos de corte fêmeas **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.69, n.5, p.1285-1293, 2017.

Vignale, K.; Greene, E. S.; Caldas, J. V.; England, J. A.; Boonsinchai, N.; Sodsee, P.; Pollock, E. D.; Dridi, S.; Coon, C. N. 25-hydroxycholecalciferol enhances male broiler breast meat yield through the mTOR pathway. **Journal of Nutrition**, v. 145, p. 855-863, 2015.

Zanuzzi C.N., Nishida F., Portiansky P.A., Fontana P.A., Gimeno E.J. & Barbeito C.G. Effects of *Solanum glaucophyllum* toxicity on cell proliferation and apoptosis in the small and large intestine of rabbits. **Res. Vet. Sci.** 93:336-342. 2011.

## Tabelas

Tabela 1. Tratamentos experimentais com fontes e níveis de inclusão de vitamina D

Tratamentos	Especificação
Controle Negativo (CN)	Ração basal (RB) isenta de suplementação de vitamina D
Tratamento 1 (T1)	RB suplementação de Vitamina D <sub>3</sub> . 200 UI/kg
Tratamento 2 (T2)	RB suplementação de Vitamina D <sub>3</sub> . 500 UI/kg
Tratamento 3 (T3)	RB suplementação de Vitamina D <sub>3</sub> . 1000 UI/kg
Tratamento 4 (T4)	RB suplementação de Vitamina D <sub>3</sub> . 2000 UI/kg
Tratamento 5 (T5)	RB suplementação de 25-OH-D <sub>3</sub> A 200 UI/kg
Tratamento 6 (T6)	RB com suplementação do produto comercial A (25-OH-D <sub>3</sub> ) com inclusão de 500 UI/kg
Tratamento 7 (T7)	RB com suplementação do produto comercial A (25-OH-D <sub>3</sub> ) com inclusão de 1000 UI/kg
Tratamento 8 (T8)	RB com suplementação do produto comercial A (25-OH-D <sub>3</sub> ) com inclusão de 2000 UI/kg
Tratamento 9 (T9)	RB com suplementação do produto comercial B (25-OH-D <sub>3</sub> ) com inclusão de 200 UI/kg
Tratamento 10 (T10)	RB com suplementação do produto comercial B (25-OH-D <sub>3</sub> ) com inclusão de 500 UI/kg
Tratamento 11 (T10)	RB com suplementação do produto comercial B (25-OH-D <sub>3</sub> ) com inclusão de 1000 UI/kg
Tratamento 12 (T11)	RB com suplementação do produto comercial B (25-OH-D <sub>3</sub> ) com inclusão de 2000 UI/kg

Tabela 2. Composição percentual das dietas experimentais do controle negativo (CN)

Ingredientes	Dietas Experimentais	
	1-21 Dias	22-42 Dias
Milho 7,88%	57,00	65,00
Farelo de Soja 45%	36,36	27,29
Óleo de soja	2,62	3,56
Fosfato Bicálcico	1,23	1,30

Calcário	0,60	0,65
Sal	0,61	0,41
Premixe mineral <sup>1</sup>	0,4	0,40
Premixe vitamínico <sup>2</sup>	0,4	0,40
DL- Metionina 99%	0,33	0,2
L-Lisina HCl 78,5%	0,35	0,29
L-Valina 99%	0,00	0,09
Cloreto de Colina 68%	0,03	0,03
Salinomicina, 12%	0,05	0,05
Inerte	0,2	0,2
Fontes de vitamina D <sub>3</sub>	0,030	0,030

---

**Composição Nutricional**


---

Energia Metabolizável (kcal/kg)	3000	3150
Proteína Bruta (%)	21,33	18,01
Lisina Digestível	1,17	1,04
M + C Digestível	0,81	0,747
Treonina Digestível	0,756	0,681
Valina Digestível	0,89	0,818
Na	0,189	0,176
Ca	0,66	0,66
P disponível	0,35	0,35

---

<sup>1</sup>Suplementação por kg de dieta: Zn, 55 mg; ; I, 0.70 mg; Cu, 10 mg; Mn, 78 mg; Fe, 48 mg.

<sup>2</sup>Suplementação por kg de dieta: Vitamina A, 10.000 UI, vitamina E, 40 mg, vitamina K3, 2,5 mg, vitamina B1, 1,5 mg, vitamina B2, 6 mg, vitamina B<sub>12</sub>, 12 µg, ácido fólico, 1,5 mg, ácido pantotênico, 13 mg, biotina, 40 µg, niacina, 30 mg, selênio, 0,3 mg e BHT, 30 mg,

<sup>3</sup>Premixe de vitamina D contendo 10.000 UI/g

Tabela 3. Desempenho de frangos de corte 1-21 dias de idade alimentados ou não com suplementação de fontes e níveis de vitamina D

Fonte	Nível, UI/kg	CR, kg	GP, g	CA, g/g
CN	0	1,063	0,649	1,637
	200			
D <sub>3</sub>		1,265	0,787 b	1,607 b
Fonte A		1,290	0,919 a	1,403 a
Fonte B		1,283	0,932 a	1,376 a
Média		1,279	0,879	1,462
	500			
D <sub>3</sub>		1,290	0,896 b	1,439 b
Fonte A		1,296	0,971 ab	1,334 ab
Fonte B		1,276	0,926 a	1,377 a
Média		1,287	0,931	1,386
	1000			
D <sub>3</sub>		1,288	0,952	1,352
Fonte A		1,304	0,997	1,307
Fonte B		1,302	0,967	1,346
Média		1,298	0,972	1,335
	2000			
D <sub>3</sub>		1,287	0,940 b	1,369 b
Fonte A		1,300	0,988 a	1,315 a
Fonte B		1,295	0,935 b	1,385 b
Média		1,294	0,938	1,356
p-valor				
Fonte		0,0722	0,0001	0,0001
Nível		0,0612	0,0001	0,0001
FXN		0,7145	0,0001	0,0001
SEM		0,0124	0,0143	0,0196

a-b Letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância

Tabela 4. Desempenho de frangos de corte 22-40 dias de idade alimentados ou não com suplementação de fontes e níveis de vitamina D

Fonte	Nível, UI/kg	CR	GP	CA
CN	0	2,670	1,221	2,186
	200			
D <sub>3</sub>		3,042 ab	1,623	1,874
Fonte A		3,048 a	1,702	1,790
Fonte B		2,983 a	1,619	1,842
Média		3,024	1,648	1,835
	500			
D <sub>3</sub>		3,101 b	1,829	1,695
Fonte A		3,050 ab	1,767	1,726
Fonte B		3,002 a	1,785	1,681
Média		3,051	1,793	1,700
	1000			
D <sub>3</sub>		3,039	1,754 b	1,732
Fonte A		3,066	1,975 a	1,552
Fonte B		3,048	1,934 a	1,576
Média		3,051	1,887	1,620
	2000			
D <sub>3</sub>		3,051	1,818 b	1,678 b
Fonte A		3,095	1,971 a	1,570 a
Fonte B		3,006	1,934 a	1,554 a
Média		3,050	1,907	1,606
p-valor				
Fonte		0,0020	0,0011	0,0007
Nível		0,2988	0,0001	0,0001
FXN		0,0356	0,0007	0,0185
SEM		0,0252	0,0334	0,0345

a-b Letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância

Tabela 5. Desempenho de frangos de corte 1-40 dias de idade alimentados ou não com suplementação de fontes e níveis de vitamina D

Fonte	Nível, UI/kg	CR	GP	CA
CN	0	3,733	1,871	1,998
	200			
D <sub>3</sub>		4,308 ab	2,411 b	1,786
Fonte A		4,339 b	2,622 a	1,654
Fonte B		4,267 a	2,551 a	1,672
Média		4,304	2,528	1,704
	500			
D <sub>3</sub>		4,394 b	2,730	1,609
Fonte A		4,346 b	2,739	1,586
Fonte B		4,279 a	2,711	1,578
Média		4,339	2,726	1,591
	1000			
D <sub>3</sub>		4,329	2,706 b	1,599
Fonte A		4,370	2,896 a	1,508
Fonte B		4,350	2,972 ab	1,463
Média		4,349	2,858	1,523
	2000			
D <sub>3</sub>		4,338 b	2,758 b	1,572
Fonte A		4,396 b	2,951 a	1,489
Fonte B		4,301 a	2,869 ab	1,499
Média		4,345	2,859	1,520
D <sub>3</sub>				1,645 b
Fonte A				1,550 ab
Fonte B				1,567ab
p-valor				
Fonte		0,0001	0,0001	0,0001
Nível <sup>1</sup>		0,0172	0,0001	0,0001
FXN		0,0092	0,0153	0,1161
SEM		0,0271	0,0378	0,0235

a-b Letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância

<sup>1</sup>Equação para CA-1-40d (D<sub>3</sub>):  $Y = -0,00009075x + 1,72869$  (R<sup>2</sup>=54,57%)

<sup>1</sup>Equação para CA-1-40d (Fonte A):  $Y = -0,000000176x^2 - 0,000143191x + 1,691131944$  (R<sup>2</sup>=64,46%)

<sup>1</sup>Equação para CA-1-40d (Fonte B):  $Y = 0,000000281x^2 - 0,000488815x + 1,763060185$  (R<sup>2</sup>=68,49%)

Tabela 6. Cálcio e fósforo no sangue aos 21 e 40 dias de frangos de corte alimentados ou não com suplementação de fontes e níveis de vitamina D

Fonte	Nível, UI/kg	Ca mg/dL-21d	P mg/dL -21d	Ca mg/d -40d	P mg/dL -40d
CN	0	9,840	5,400	9,240	4,340
	200				
D <sub>3</sub>		10,940	5,680	11,140	5,740
Fonte A		12,120	5,760	12,440	6,220
Fonte B		11,740	5,820	11,520	6,420
Média		11,600	5,753	11,700	6,126
	500				
D <sub>3</sub>		11,760	5,880	11,860	5,460
Fonte A		12,220	5,820	12,180	6,000
Fonte B		12,480	5,700	11,400	5,980
Média		12,153	5,800	11,813	5,813
	1000				
D <sub>3</sub>		12,120	5,780	11,940	6,100
Fonte A		12,660	6,080	12,080	6,520
Fonte B		12,160	5,800	10,940	5,560
Média		12,313	5,886	11,653	6,060
	2000				
D <sub>3</sub>		12,180	5,860	11,860	5,840
Fonte A		12,700	6,140	12,720	6,580
Fonte B		12,600	5,740	11,460	5,760
Média		12,493	5,913	12,013	6,060
D <sub>3</sub>		11,750 b		11,700 ab	5,785 b
Fonte A		12,425 a		12,355 a	6,330 a
Fonte B		12,245 ab		11,330 b	5,930 b
p-valor					
Fonte		0,0155	0,3771	0,0095	0,0039
Nível <sup>1</sup>		0,0107	0,7331	0,7765	0,3512
FXN		0,7759	0,8843	0,7939	0,0623
SEM		0,323	0,217	0,445	0,240

a-b Letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

<sup>1</sup> Equação para Ca-21d (D<sub>3</sub>):  $Y = 0,00006212x + 5,74254$  ( $R^2=29,05\%$ )

Tabela 7. Características ósseas na tíbia aos 21 dias de idade de acordo com os níveis e fontes da vitamina D

Fonte	Nível,	MM %	Ca %	P %	RA (kgf/cm)	IS (g/cm <sup>3</sup> )
CN	0	44,722	15,687	7,782	305,75	0,575
	200					
D <sub>3</sub>		45,02	16,79	8,16	440,75	0,608
Fonte A		44,76	17,81	8,81	464,14	0,629
Fonte B		45,12	17,90	8,55	432,00	0,652
Média		44,966	17,500	8,506	445,630	0,629
	500					
D <sub>3</sub>		45,02	17,39	8,26	467,00	0,612
Fonte A		44,76	19,80	9,26	587,00	0,670
Fonte B		45,12	18,91	9,05	556,13	0,674
Média		44,966	18,700	8,856	536,71	0,652
	1000					
D <sub>3</sub>		45,96	18,96	8,84	510,75	0,634
Fonte A		46,18	20,09	9,36	698,63	0,687
Fonte B		45,93	19,33	8,94	633,88	0,674
Média		46,023	19,460	9,046	614,42	0,665
	2000					
D <sub>3</sub>		45,28	19,45	9,00	530,00	0,642
Fonte A		45,43	20,59	9,07	712,62	0,720
Fonte B		45,49	19,64	9,22	582,38	0,678
Média		45,400	19,893	9,096	608,33	0,680
D <sub>3</sub>			18,148 b	8,564 b	487,125 b	3,968 b
Fonte A			19,572 a	9,124 a	615,598 a	4,400 a
Fonte B			19,070 a	8,942 a	551,094 ab	4,355 a
p-valor						
Fonte		0,5701	0,0001	0,0003	0,005	0,0054
Nível <sup>1</sup>		0,0052	0,0001	0,0009	0,0912	0,0713
FXN		0,8561	0,4032	0,1801	0,4724	0,9056
SEM		0,3216	0,3721	0,1823	45,165	0,0259

a-b Letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

<sup>1</sup> Equação para MM (Fonte B):  $Y = 0,00228400x + 44,70587963$  ( $R^2=62,70\%$ )<sup>1</sup> Equação para Ca (First25):  $Y = 0,01521938x + 15,31958333$  ( $R^2=64,28\%$ )

<sup>1</sup> Equação para Ca (Fonte B):  $Y = 0,00692773x + 16,75106481$  ( $R^2=89,22\%$ )<sup>1</sup> Equação para P (First25):  $Y = 0,003262199x + 8,265324074$  ( $R^2=47,20\%$ )

<sup>1</sup> Equação para P (Fonte B):  $Y = -0,000004777x^2 + 0,004408356x + 7,852731481$  ( $R^2=65,39\%$ )

<sup>1</sup>Equação para IS (Fonte A):  $Y = 0,000006707x^2 + 0,012800799 + 7,36655740$  ( $R^2=96,66\%$ )

Tabela 8. Características ósseas na tíbia aos 40 dias de idade de acordo com os níveis e fontes da vitamina D

Fonte	Nível, UI/kg	MM %	Ca %	P %	RA (kgf/cm)	IS ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
CN	0	48,025	18,200	9,375	1108,75	1,37
	200					
D <sub>3</sub>		46,53	18,91	8,50	1820,13	1,725
Fonte A		46,52	19,15	21,28	1781,50	1,653
Fonte B		46,97	19,25	20,21	1737,87	1,658
Média		46,673	19,103	16,663	1779,83	1,678
	500					
D <sub>3</sub>		48,17	19,51	9,55	2305,29	1,796
Fonte A		48,32	20,00	9,41	2080,50	1,778
Fonte B		46,77	19,70	9,73	1671,38	1,693
Média		47,753	19,736	9,563	2019,057	1,755
	1000					
D <sub>3</sub>		47,80	19,89	9,88	2064,75	1,831
Fonte A		46,71	21,13	9,53	1873,38	1,849
Fonte B		47,82	19,93	9,03	1732,88	1,754
Média		47,443	20,316	9,480	18,90,337	1,811
	2000					
D <sub>3</sub>		47,96	20,06	9,68	1894,25	1,800
Fonte A		47,90	21,28	9,74	1879,38	1,858
Fonte B		47,98	20,21	9,80	1853,50	1,801
Média		47,946	20,516	9,740	1875,71	1,819
D <sub>3</sub>			19,621 b			
Fonte A			20,263 a			
Fonte B			19,893 ab			
p-valor						
Fonte		0,7025	0,0123	0,5223	0,0579	0,0940
Nível <sup>1</sup>		0,2361	0,0001	0,0174	0,3398	0,0184
FXN		0,5869	0,6266	0,5941	0,6003	0,3398
SEM		0,7002	0,3306	0,3308	164,96	0,0507

a-b Letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

<sup>1</sup>Equação para Ca (Fonte A):  $Y = 0,00389676x + 18,45925926$  ( $R^2=83,83\%$ )

<sup>1</sup>Equação para P (Fonte B):  $Y = 0,008817361x + 7,648611111$  ( $R^2=28,82\%$ )

<sup>1</sup>Equação para IS (Fonte B):  $Y = 0,000000096x^2 + 0,000069803x + 1,640115741$  ( $R^2=98,66\%$ )

Tabela 9. Quantificação de área relativa de osso esponjoso e osso compacto na tíbia aos 40 dias de frangos de corte alimentados ou não com suplementação de fontes e níveis de vitamina D

Fonte	Nível, UI/kg	OC ( $\mu\text{m}$ )	OE (%)
CN	0	185,729	5,641
	200		
D <sub>3</sub>		154,712	4,756
Fonte A		186,265	5,174
Fonte B		225,991	5,332
Média		188,989	5,087
	500		
D <sub>3</sub>		176,757	4,127
Fonte A		173,071	5,201
Fonte B		176,477	5,114
Média		175,435	4,814
	1000		
D <sub>3</sub>		198,339	4,999
Fonte A		191,424	5,068
Fonte B		209,242	5,457
Média		199,668	5,174
	2000		
D <sub>3</sub>		202,985 a	4,713
Fonte A		163,548 b	4,686
Fonte B		184,851 ab	2,423
Média		183,794	3,940
			4,649 b
D <sub>3</sub>			5,332 a
Fonte A			5,032 ab
Fonte B			
p-valor			
Fonte		0,0077	0,0054
Nível <sup>1</sup>		0,0170	0,4626
FXN		0,0003	0,5751
SEM		9,373	0,296

a-b Letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Tabela 10. Digestibilidade de cálcio e fósforo aos 21 e 42 dias de idade de frangos de corte alimentados ou não com suplementação de fontes e níveis de vitamina

Fonte	Nível, UI/kg	Ca %-21d	P%-21d	Ca%-40d	P%-40d
CN	0	43,166	51,049	44,432	45,62
	200				
D <sub>3</sub>		49,244	47,45	48,707	45,91
Fonte A		53,718	46,54	50,830	56,37
Fonte B		50,149	41,22	51,560	53,77
Média		51,037	45,07	50,365	52,01
	500				
D <sub>3</sub>		54,064	42,76	48,660	44,15
Fonte A		56,023	44,90	53,902	47,88
Fonte B		54,424	43,01	53,165	50,61
Média		54,837	43,55	51,909	47,54
	1000				
D <sub>3</sub>		56,490	43,11	51,190	45,55
Fonte A		58,361	47,91	55,482	46,98
Fonte B		57,608	42,90	55,747	50,44
Média		57,486	44,64	54,139	47,65
	2000				
D <sub>3</sub>		57,277	46,84	54,277	49,29
Fonte A		60,870	48,03	60,060	48,65
Fonte B		58,754	50,91	59,202	46,56
Média		58,967	58,59	57,846	48,16
D <sub>3</sub>		54,268 b		50,708 b	
Fonte A		55,234 ab		55,066 a	
Fonte B		57,243 a		54,918 a	
p-valor					
Fonte		0,0114	0,3800	<.0001	0,3806
Nível <sup>1</sup>		<.0001	0,2527	<.0001	0,1357
FXN		0,9339	0,9780	0,8948	0,1388
SEM		1,3	1,237	1,314	1,156

a-b Letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

<sup>1</sup> Equação para Ca-21d (D<sub>3</sub>):  $Y = 0,00382X + 50,73695$  ( $R^2=69,32\%$ )

<sup>1</sup> Equação para Ca-21d (Fonte A):  $Y = 0,0113225x + 51,67754630$  ( $R^2=94,17\%$ )

<sup>1</sup> Equação para Ca- 21d (Fonte B):  $Y = 0,02397823x + 45,96062500$  ( $R^2=76,81\%$ )

<sup>1</sup> Equação para Ca-40d (D<sub>3</sub>):  $Y = 0,00332x + 47,64055$  ( $R^2= 97,05\%$ )

<sup>1</sup> Equação para Ca-40d (Fonte A):  $Y = 0,02087340x + 47,32902778$  ( $R^2=96,92\%$ )

<sup>1</sup> Equação para Ca-40d (Fonte B):  $Y = 0,00510799x + 50,51736111$  ( $R^2=98,75\%$ )

Tabela 11. Morfometria intestinal do jejuno aos 21 e 40 dias de idade de frangos de corte alimentados ou não com suplementação de fontes e níveis de vitamina D

Fonte	Nível, UI/kg	Vilo ( $\mu\text{m}$ )-21d	Cripta( $\mu\text{m}$ ) 21d	V:C( $\mu\text{m}/(\mu\text{m})$ )-21d	Vilo( $\mu\text{m}$ )-40d	Cripta( $\mu\text{m}$ )-40d	V:C( $\mu\text{m}/\mu\text{m}$ )-40d
CN	0	3507,5	816,042	4,335	935,825	6349,84	6,992
	200						
D <sub>3</sub>		3427,010 b	787,037 b	4,35 b	1004,53 a	6639,512 ab	6,894 b
Fonte A		4218,288 a	864,012 a	5,063 a	867,277 b	6236,806 b	7,51 ab
Fonte B		2900,104 c	719,252 c	4,012 b	930,518 b	7098,720 a	7,912 a
Média		3515,134	790,100	4,475	934,108		7,438
	500						
D <sub>3</sub>		3194,744 ab	767,105	4,155 b	918,646 a	7227,489 a	8,108 a
Fonte A		3033,303 b	762,986	4,033 b	931,978 a	5892,453 b	6,451 b
Fonte B		3439,709 a	732,433	4,792 a	842,182 b	5832,638 b	7,055 b
Média		3222,585	754,174	4,326	897,602		7,204
	1000						
D <sub>3</sub>		3010,05 b	763,402	3,946 ab	900,742ab	6442,108 ab	7,342
Fonte A		3003,201 b	762,56	4,041 a	947,429 a	6532,107 a	7,13
Fonte B		3736,144 a	795,895	4,732 b	864,771 b	6033,404 b	7,123
Média		3249,798	773,952	4,239	904,314		7,198
	2000						
D <sub>3</sub>		3679,99 a	793,402	4,782 b	893,151 b	5733,591 b	6,526
Fonte A		3594,104 a	757,965	4,842 b	898,316 b	5870,254 b	6,652
Fonte B		3077,34 b	813,37	3,868 a	973,899 a	6762,333 a	7,121
Média		3450,478	788,245	4,497	921,789		6,766
p-valor							
Fonte		0,109	0,2905	0,1855	0,0004	0,2284	0,0489
Nível		0,0045	0,09	0,1119	<.0001	0,1703	0,0024
FXN		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
SEM		115,52	19,438	0,1489	141,952	22,307	0,2206

a-b Letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância

Tabela 12. Rendimento de carcaça e cortes de frangos de corte alimentados ou não com suplementação de fontes e níveis de vitamina D

Fonte	Nível, UI/kg	RCAR	RPEI	RCOX	RSOB	RASA	RDOR	GA
CN	0	65,868	35,156	14,367	15,498	12,326	21,672	1,593
	200							
D <sub>3</sub>		68,431	37,578	13,845	14,961	11,47	20,872	2,333
Fonte A		67,785	36,122	14,039	14,851	11,96	21,745	2,375
Fonte B		68,348	37,431	14,195	14,555	11,421	21,328	2,062
Média		68,188	37,043	14,026	14,789	11,617	21,315	2,256
	500							
D <sub>3</sub>		68,258	36,541	13,747	14,355	11,917	22,208	2,437
Fonte A		66,688	38,136	12,973	14,244	11,595	21,664	2,687
Fonte B		67,946	37,590	14,025	14,523	11,645	21,117	2,093
Média		67,630	37,422	13,581	14,374	11,719	21,663	2,405
	1000							
D <sub>3</sub>		70,118	37,643	14,403	14,257	11,143	20,752	2,343
Fonte A		69,183	37,527	13,92	14,301	11,368	21,63	2,5
Fonte B		68,637	37,218	14,055	14,316	11,49	21,692	2,468
Média		69,312	37,462	14,126	14,291	11,333	21,358	2,437
	2000							
D <sub>3</sub>		68,033	37,431	14,046	14,117	11,531	21,546	2,593
Fonte A		68,174	38,473	13,653	14,92	11,419	20,264	2,531
Fonte B		69,688	37,075	13,826	14,898	11,811	21,27	2,218
Média		68,631	37,659	13,841	14,645	11,587	21,026	2,447
p-valor								
Fonte		0,3537	0,7604	0,3486	0,7468	0,9134	0,9972	0,4200
Nível		0,0841	0,5893	0,4004	0,2149	0,3938	0,5042	0,8959
FXN		0,6112	0,079	0,8305	0,6073	0,6011	0,1599	0,9828
SEM		0,819	0,5692	0,4101	0,357	0,2835	0,5115	0,3436

a-b Letras diferentes na mesma coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância

Tabela 13. Biodisponibilidade relativa de ganho de peso de 1 a 40 dias de idade de frangos suplementados ou não com fontes de vitamina D.

Fonte	Equação resposta	r <sup>2</sup> , %	BR,%
<b>1-40 d</b>			
D <sub>3</sub>	Y= 2,25062 + 0,0003286X	49	100
Fonte A	Y= 2,33021 + 0,0004089	52	124
Fonte B	Y= 2,30246 + 0,0003748	51	114

Tabela 14. Biodisponibilidade relativa do cálcio no sangue aos 21 e 40 dias de idade de frangos suplementados ou não com fontes de vitamina D.

<b>Fonte</b>	<b>Equação resposta</b>	<b>r<sup>2</sup>, %</b>	<b>BR,%</b>
<b>21 d</b>			
D <sub>3</sub>	Y=0,0013X +0,235	56	100
Fonte A	Y=0,0016X + 10,599	55	123
Fonte B	Y=0,0015x + 10,333	57	115
<b>40 d</b>			
D <sub>3</sub>	Y=0,0014X + 9,9745	64	100
Fonte A	Y=0,0017X + 10,392	60	121
Fonte B	Y=0,0015X + 10,125	62	107

Tabela 15. Biodisponibilidade relativa do cálcio na tíbia aos 21 e 40 dias de idade de frangos suplementados ou não com fontes de vitamina D.

<b>Fonte</b>	<b>Equação resposta</b>	<b>r<sup>2</sup>, %</b>	<b>BR,%</b>
<b>21 d</b>			
D <sub>3</sub>	Y=0,0018X + 16,324	86	100
Fonte A	Y=0,0020X + 17,292	64	111
Fonte B	Y=0,0018x + 17,068	70	100
<b>40 d</b>			
D <sub>3</sub>	Y=0,008X + 18,701	73	100
Fonte A	Y=0,0014X + 18,843	81	175
Fonte B	Y=0,0010X + 18,773	82	125

Tabela 16. Biodisponibilidade relativa de digestibilidade cálcio na tíbia aos 21 e 40 dias de idade de frangos suplementados ou não com fontes de vitamina D

<b>Fonte</b>	<b>Equação resposta</b>	<b>r<sup>2</sup>, %</b>	<b>BR,%</b>
<b>21 d</b>			
D <sub>3</sub>	Y=0,006 X + 47,579	67,6	100
Fonte A	Y=0,0068 X + 49,362	64,1	113
Fonte B	Y=0,0066 X + 47,915	70	110
Média	<b>40 d</b>		
D <sub>3</sub>	Y=0,0042 X + 46,31	87,3	100
Fonte A	Y=0,0066 X + 48,056	82,3	157
Fonte B	Y=0,0061 X + 48,294	78,7	145