



## Suplementação de minerais e vitaminas em dietas de frangos de corte: efeito sobre desempenho e qualidade óssea

### Supplementation of minerals and vitamins in broiler diets: effect on performance and bone quality

Mayra Vissotto Ribeiro<sup>1\*</sup> , Adrieli Braga de Cristo<sup>1</sup> , Heloísa Laís Fialkoski Bordignon<sup>1</sup> , Eduarda Pires Simões<sup>1</sup> , Letícia Cardoso Bittencourt<sup>1</sup> , Jovanir Ines Muller Fernandes<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Paraná, Palotina, PR, Brasil

\*Correspondente: [jimfernandes@ufpr.br](mailto:jimfernandes@ufpr.br)

#### Resumo

As diferenças na velocidade de crescimento e na composição de carcaça dos frangos podem exigir níveis mais altos de vitaminas e de minerais com maior biodisponibilidade. O objetivo deste trabalho foi suplementar dietas comerciais para frangos de corte com níveis otimizados de vitaminas e com diferentes fontes minerais para avaliar o efeito sobre o desempenho produtivo, rendimento de carcaça e qualidade óssea. Foram utilizados 1800 pintos de corte machos da linhagem Cobb Slow, divididos em um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 2 (programas vitamínicos – otimizado e comercial Vs fontes de minerais – inorgânicos (sulfatos) e carbo-amino-fosfoquelato, CAPC). No premix vitamínico otimizado foi incluído o metabólito da vitamina D<sub>3</sub>, 25(OH)D<sub>3</sub>. As aves e as sobras de ração foram pesadas semanalmente. A análise estatística dos dados foi realizada pelo procedimento GLM do software SAS. A suplementação de dietas com associação de programas vitamínicos otimizados e fonte mineral CAPC resultou em melhor conversão alimentar aos 42 dias de idade (P<0,05). A suplementação com minerais CAPC resultou em menor índice de vermelho (\*a) (P<0,05) na musculatura adjacente aos ossos das coxas e sobrecoxas dos frangos de corte quando descongeladas e assadas, indicando menor porosidade óssea. Fontes mais biodisponíveis de minerais permitem reduzir a sua inclusão nas dietas e diminuem o impacto negativo da excreção de minerais e o efeito poluidor sobre o meio ambiente.

**Palavras-chave:** 25(OH)D<sub>3</sub>; *black bone*; conversão alimentar; minerais orgânicos.

#### Abstract

Differences in growth rate and carcass composition of broilers may require higher levels of vitamins and minerals

Recebido  
10 de fevereiro de 2021.  
Aceito  
09 de abril de 2021.  
Publicado  
13 de julho de 2021.

[www.revistas.ufg.br/vet](http://www.revistas.ufg.br/vet)  
Como citar - disponível no  
site, na página do artigo.

with higher bioavailability. The aim of this trial was to supplement commercial diets for broilers with optimized levels of vitamins and with different mineral sources to assess the effect on performance, carcass yield and bone quality. A total of 1,800 Cobb Slow male broiler chicks were distributed into a 2 x 2 factorial completely randomized design (vitamin programs - optimized and commercial versus mineral sources - inorganic [sulfates] and carbo-amino-phospho-chelate, CAPC). The vitamin D<sub>3</sub> metabolite, 25 (OH) D<sub>3</sub>, was included in the optimized vitamin premix. Birds and feed leftovers were weekly weighed. Data was subjected to statistical analysis using the GLM procedure of SAS software. Supplementing diets with a combination of optimized vitamin programs and CAPC as mineral source resulted in better feed conversion at 42 days of age (P<0.05). Supplementation with CAPC minerals resulted in a lower red index (\*a) (P<0.05) in the adjacent thigh muscles and drumstick bones of broilers when thawed and roasted, indicating less bone porosity. The inclusion rates of mineral sources with higher bioavailability can be reduced, decreasing the negative impact of mineral excretion and the polluting effect on the environment.

**Keywords:** 25(OH)D<sub>3</sub>, black bone, organic minerals, feed conversion.

---

## Introdução

Além do desafio constante, na indústria avícola, de uma produção mais eficiente a fim de diminuir os custos, as constantes mudanças nos hábitos de consumo e a crescente busca por segurança alimentar, tem forçado o setor a realizar alterações contínuas para atender a demanda e a sensibilidade desses consumidores que estão em busca de produtos agregados de alta qualidade e de valor nutricional<sup>(1)</sup>.

Além disso, a produção de aves passou por mudanças durante os últimos anos. Os genótipos melhoraram em ganho de peso e conversão alimentar, a composição de carcaça evoluiu para aves mais magras e foram desenvolvidas linhagens selecionadas especialmente para rendimento de peito. Neste contexto, novos estudos a respeito das exigências nutricionais de vitaminas e minerais têm despertado interesse particular de pesquisadores porque o conhecimento das exigências desses nutrientes é baseado em informações obtidas em pesquisas realizadas nas décadas de 1950 e 1960<sup>(2)</sup>.

Estas diferenças na velocidade de crescimento e composição de carcaça dos frangos podem exigir níveis mais altos de vitaminas e minerais com maior biodisponibilidade. Níveis mais elevados de vitaminas na dieta de frangos podem compensar alterações de consumo devido a problemas sanitários ou ambientais, biodisponibilidade das fontes utilizadas e problemas que comprometam a qualidade do processamento das dietas<sup>(3)</sup>.

As vitaminas, apesar de representarem uma porção pequena na formulação de uma dieta, são nutrientes essenciais que atuam em mais de 30 reações metabólicas celulares

e estão associadas a maior eficiência dos sistemas de síntese no organismo animal<sup>(4,5)</sup>.

Além das funções da vitamina D, ligadas ao crescimento esquelético, mineralização e manutenção do tecido ósseo<sup>(6,7)</sup>, Hutton et al.<sup>(8)</sup> mostraram que a suplementação de 25(OH)D<sub>3</sub> estimula a atividade de células satélites do músculo *pectoralis major* da ave, sendo assim, 25(OH)D<sub>3</sub> aumenta o rendimento muscular através da hiperplasia da fibra muscular. Vignale et al.<sup>(9)</sup> apontaram outra via de atuação da vitamina sobre o crescimento muscular. A 25(OH)D<sub>3</sub> estimula a síntese proteica através de um aumento nas taxas de iniciação traducional, processo que envolve diversos fatores de iniciação, quinases e fosfatases, cujas atividades são reguladas por fosforilação. Esta ativação ocorre por vias de sinalização dependentes da proteína quinase mTOR (sensível à rapamicina).

A suplementação com 25(OH)D<sub>3</sub> disponibiliza vitamina D mais ativa, de modo que ocorra diminuição nos gastos energéticos com a sua metabolização e o aumento da sua eficiência no organismo<sup>(10)</sup>, além da taxa de absorção que é de aproximadamente 20% maior que a D<sub>3</sub><sup>(11)</sup>.

Apesar de ser indispensável a suplementação vitamínica nas dietas, nem todos os experimentos demonstram a necessidade de cada uma delas. A maioria dos nutricionistas adiciona este elemento por precaução, visando reduzir os fatores estressantes e o risco de doenças subclínicas<sup>(12)</sup>.

A presença de minerais na dieta, como Cu, Fe, Mn, Zn e Se são essenciais para o crescimento de frangos de corte em razão de seu envolvimento em muitos processos fisiológicos e de biossíntese, funcionando, principalmente, como catalisadores enzimáticos intracelulares ou como partes constituintes de enzimas. Os microelementos citados constituem várias proteínas envolvidas no metabolismo intermediário, em vias de secreção hormonal e no sistema imunológico<sup>(13)</sup>.

Tradicionalmente, esses microminerais são suplementados às dietas sob a forma de sais inorgânicos, tais como sulfatos, óxidos e carbonatos, a fim de suprir deficiências clínicas que impeçam a ave de atingir seu potencial genético de crescimento<sup>(14)</sup>.

Devido à baixa biodisponibilidade e até mesmo à falta de conhecimento relacionada a absorção e utilização desses minerais, os níveis fornecidos nas dietas são frequentemente superiores aos exigidos pela ave, resultando em excesso de fornecimento e, conseqüentemente, maior excreção ao meio ambiente<sup>(15)</sup>. Outra forma de suplementação mineral é através do fornecimento de minerais inorgânicos ligados a uma molécula, o ligante. A ligação pode ser de um mineral com um aminoácido, formado o complexo metal-aminoácido, ligado a duas ou três moléculas de aminoácidos, formando o quelato ou ainda à polissacarídeos.

Resultados favoráveis à inclusão de minerais orgânicos na dieta em substituição às fontes inorgânicas já foram demonstrados, como a melhoria no desempenho, deposição de cinzas ósseas<sup>(14)</sup>, status antioxidante sérico<sup>(15)</sup>, bem como a redução de minerais excretados na cama<sup>(13, 14)</sup>.

Os minerais mais biodisponíveis oferecem maior estabilidade e beneficiam-se de

proteção bioquímica contra as distintas reações químicas que podem ocorrer quando agregados na própria dieta, esperando-se um melhor desempenho das aves e maior absorção e utilização desses minerais, quando suplementados<sup>(16)</sup>, além do menor impacto ambiental<sup>(13, 17)</sup>. Entretanto, independente da forma em que o microelemento mineral se apresenta, as funções dos mesmos se mantêm, portanto a forma de apresentação interfere apenas na biodisponibilidade.

O objetivo do trabalho foi avaliar a suplementação de dietas comerciais para frangos de corte com níveis otimizados de vitaminas e com diferentes fontes minerais sobre o desempenho produtivo e qualidade óssea.

## Material e métodos

O experimento foi executado no aviário experimental da Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina onde todos os procedimentos com uso de animais neste trabalho foram submetidos à avaliação e aprovados pelo Comitê de Ética em Experimentação Animal do Setor Palotina da UFPR, sob o protocolo no 51/2014.

Foram utilizados 1800 pintos de corte machos da linhagem Cobb Slow, divididos em um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial  $2 \times 2$  (programas vitamínicos – otimizado e comercial  $\times$  fontes de minerais – inorgânicos e carbo-amino-phospho-chelate, CAPC) totalizando quatro tratamentos, nove repetições e 36 unidades experimentais com 50 aves cada.

Os programas vitamínicos utilizados foram: Programa Vitamínico Comercial e Programa Vitamínico Otimizado, seguindo as recomendações do programa Optimum Vitamim Nutrition (OVN™, DSM). Quanto às fontes minerais, foram utilizadas: fonte inorgânica mineral, composta por minerais na forma de sulfato e fonte Carbo-Amino-Phospho-Chelate (CAPC) (Minerais Tortuga). Os tratamentos foram compostos por:

- 1 - Programa vitamínico comercial + fonte inorgânica de minerais
- 2 - Programa vitamínico otimizado + fonte inorgânica de minerais
- 3 - Programa vitamínico comercial + fonte CAPC de minerais
- 4 - Programa vitamínico otimizado + fonte CAPC de minerais

As dietas, à base de milho e farelo de soja, foram formuladas de acordo com os valores de composição química dos alimentos e as recomendações nutricionais adotadas pelas integrações avícolas da região (Tabela 1).

**Tabela 1.** Composição nutricional das dietas fornecidas aos frangos de corte

<b>Ingredientes, %</b>	<b>Inicial</b>	<b>Crescimento</b>	<b>Abate</b>
Milho	53,07	55,12	56,98
Farelo Soja	34,00	29,90	28,20
Farinha Carne	5,20	4,50	4,00
Óleo Soja	4,10	5,50	5,90
Farinha Vísceras	1,50	3,00	3,00
Calcário	0,340	0,420	0,420
Sal comum	0,310	0,310	0,290
Bicarbonato de sódio	0,103	-	-
Premix vitamínico e mineral <sup>1</sup>	0,500	0,500	0,500
Colina 60%	0,086	0,052	0,042
L-Lisina 70%	0,316	0,284	0,280
L-Treonina 98%	0,092	0,084	0,089
L-Valina	0,021	0,012	-
<b>Composição nutricional</b>			
PB, %	23,30	22,12	21,25
EM, Kcal/kg	3.100	3.230	3.278
GB, %	7,16	8,69	9,08
FB, %	3,08	2,89	2,82
Cálcio, %	1,03	1,02	0,95
P. Disp., %	0,46	0,45	0,42
Lis Dig., %	1,250	1,160	1,111
AAS Dig., %	0,761	0,779	0,789
Thr Dig., %	0,813	0,766	0,745
Trp Dig., %	0,225	0,209	0,200
Leuc Dig., %	1,670	1,599	1,552
Ile Dig., %	0,692	0,698	0,699
Val Dig., %	0,963	0,905	0,860
Arg Dig., %	1,411	1,325	1,266
Colina, g/kg	1,850	1,651	1,553
Na, %	0,212	0,176	0,161
Cl, %	0,273	0,260	0,238
K, %	0,900	0,826	0,793
Na+K+Cl, Meq/100g	246	215	206

<sup>1</sup>Níveis descritos na Tabela 2

O premix vitamínico comercial e otimizado e o premix mineral na forma CAPC e sulfatos foram incluídos de acordo com os tratamentos e recomendações na dose de 5 kg/ton (Tabela 2).

**Tabela 2.** Programas vitamínicos e de minerais por tonelada de ração

Vitaminas		Programas vitamínicos otimizados			Programas vitamínicos comerciais		
		Inicial	Crescimento	Abate	Inicial	Crescimento	Abate
Vitamina A	UI	12.500	11.000	10.000	12.000	9.000	7.000
Vitamina D <sub>3</sub>	UI	3.000	3.000	3.000	3.500	3000	2.500
25(OH)D <sub>3</sub>	UI	2.760	2.760	-	-	-	-
Vitamina E	Mg	150	100	100	30	25	20
Vitamina K	Mg	4	4	4	3	3	3
Vitamina B1	Mg	4,0	3,0	2,0	3,0	2,4	1,8
Vitamina B2	Mg	8,0	7,0	6,0	8,0	6,5	5,0
Vitamina B6	Mg	5,0	5,0	4,0	5,0	4,2	3,5
Vitamina B12	Mg	0,030	0,020	0,020	0,020	0,015	0,012
Niacina	Mg	60	60	50	40	35	30
Ác. Pantotênico	Mg	20	17	14	18	15	12
Ácido Fólico	Mg	2,5	2,0	2,0	2,5	1,5	1,0
Biotina	Mg	0,30	0,25	0,20	0,24	0,21	0,20
Microminerais		Microminerais CAPC*			Microminerais Inorgânicos**		
Manganês	Mg	56	56	56	120	100	100
Zinco	Mg	44	44	44	100	80	80
Ferro	Mg	44	44	44	70	60	60
Cobre	Mg	8,6	8,6	8,6	8,0	8,0	8,0
Selênio	Mg	0,340	0,340	0,340	0,240	0,240	0,240
Iodo	Mg	1	1	1	1	1	1

\*Microminerais CAPC: carbono-amino-phosfo-chelate de cobre, carbono-amino-fosfoquelato de ferro, carbono-amino-fosfoquelato de manganês, carbono-amino-fosfoquelato de selênio, carbono-amino-fosfoquelato de zinco e iodato de cálcio.

\*\*Microminerais inorgânicos: sulfato de ferro, sulfato de manganês, sulfato de zinco, sulfato de cobre, selenito de sódio e iodato de cálcio.

O metabólito da vitamina D<sub>3</sub>, 25(OH)D<sub>3</sub>, foi incluído apenas nos tratamentos com o programa vitamínico otimizado. O programa de alimentação foi dividido em três fases: inicial (1 a 18 dias), crescimento (19 a 35 dias) e abate (36 a 42 dias) e as rações foram

fornecidas *ad libitum* e na forma farelada.

As aves foram alojadas em galpão climatizado (exaustores, placas evaporativas e aquecimento através de campânulas elétricas), dividido em 36 boxes de 3,52m<sup>2</sup>, cobertos com maravalha reutilizada (6º lote) sobre o piso. A temperatura de conforto térmico foi mantida de acordo com a idade. As aves receberam 24 horas de luz até os 14 dias, em função do sistema de aquecimento (lâmpada halógena de 300W), após esse período 16 horas de luz e 8 de escuro. Foi realizado manejo de cama dos 14 aos 28 dias revirando a mesma em dias intercalados.

As aves foram pesadas no início e no final do experimento, assim como a sobra de ração fornecida, para a avaliação do peso médio, ganho de peso, ganho médio diário, consumo de ração e conversão alimentar. A conversão alimentar foi corrigida pela mortalidade semanal das aves, conforme metodologia escrita por Sakomura e Rostagno<sup>(18)</sup>.

Aos 42 dias de idade, após jejum alimentar de seis horas, 30 aves/tratamento foram insensibilizadas por eletrochoque e abatidas por sangria mediante corte da veia jugular, sendo posteriormente escaldadas, depenadas e evisceradas, de acordo com a Resolução Normativa CONCEA nº 37 de 15 de fevereiro de 2018 (Diretriz da Prática de Eutanásia do Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal – Conceia).

Após remoção de todo tecido aderente da perna esquerda, a tíbia de 30 aves/tratamento foi pesada, e medido o comprimento e o diâmetro, com auxílio de um paquímetro digital (mm). O índice de Seedor<sup>(19)</sup> foi obtido pela divisão do peso dos ossos (mg) pelo seu comprimento (mm). Em seguida, foram submetidas ao ensaio de flexão à taxa de deformação constante para material visco-elástico, com equipamento de ensaio universal da marca Texture Analyser, com célula de carga de 500 kgf, velocidade e do cabeçote de 10 mm/seg. Após realizado o teste de resistência à quebra, a espessura da parede cortical dos ossos foi medida na porção medial da diáfise, com auxílio de paquímetro digital (mm) na fase lateral adjacente à fíbula óssea e na região oposta, fase medial, obtendo-se duas medidas das quais foi calculado o valor médio de espessura do osso cortical.

Para avaliar a ocorrência da Síndrome do osso negro (*black bone*), as tíbias direita das 30 aves/tratamento foram resfriadas logo após o abate e abertas longitudinalmente para exposição do tecido muscular adjacente ao osso da tíbia por 30 minutos, As leituras foram realizadas tomando três pontos diferentes por amostra. Os valores de luminosidade (L\*), índice de vermelho(a\*) e índice de amarelo (b\*) foram expressos no sistema de cor CIELAB através da utilização de um colorímetro HunterLab®. Duas pernas íntegras de mais 30 aves/tratamento foram coletadas e congeladas por 60 dias. Após o descongelamento e exposição do tecido adjacente ao osso do fêmur e tíbia, foi procedida a avaliação da cor (valor L\* e índices a\* e b\*) e, em seguida, as pernas das aves foram levadas ao forno em assadeira única e assadas por ± 2 horas a 200° C. Após assadas, as pernas foram mantidas em superfície fria até atingirem a temperatura ambiente e em seguida, procedeu-se novamente a leitura da cor, conforme preconizado por Whitehead e Fleming<sup>(20)</sup>.

Para a análise estatística, os dados foram verificados quanto à presença de valores

discrepantes (*outliers*) e testaram-se as pressuposições de normalidade dos erros studentizados (teste de Cramer Von Mises) e de homogeneidade de variância (teste de Brown-Forsythe). Após constatada a não violação dessas pressuposições, os dados foram submetidos à análise de variância através do procedimento GLM do programa SAS (SAS Institute, 2002). Os dados referentes à viabilidade não apresentaram distribuição normal, para a análise, foi utilizada a metodologia de modelos lineares generalizados<sup>(21)</sup> admitindo-se distribuição gama.

## Resultados e Discussão

Não houve diferença estatística ( $P < 0,05$ ) para o desempenho produtivo dos frangos de corte. Entretanto, aos 42 dias de idade, a interação entre programas vitamínicos e fontes minerais influenciou a conversão alimentar das aves (Tabela 3). No desdobramento da interação é possível observar que as aves que receberam dietas elaboradas com programas vitamínicos otimizados e fonte mineral CAPC apresentaram melhor conversão alimentar ( $P < 0,05$ ), assim como quando são associados programas vitamínicos comerciais e fonte mineral inorgânica (Tabela 4).

**Tabela 3.** Desempenho produtivo, aos 42 dias, de frangos de corte recebendo dietas suplementadas com diferentes programas vitamínicos e fontes minerais

	Peso corporal, g	Ganho de peso, g	Consumo de ração, g	Conversão alimentar
Programa vitamínico				
Comercial	2926,31	2850,11	4262,03	1,501
Otimizado	2937,82	2885,68	4356,86	1,500
Fonte mineral				
Inorgânica	2918,85	2857,53	4255,29	1,494
CAPC	2945,28	2857,26	4364,00	1,507
CV, %	4,33	4,25	3,77	1,70
valor de P				
Vitaminas (V)	0,5374	0,6141	0,0551	0,1561
Minerais (M)	0,7875	0,3888	0,0904	0,9832
V x M	0,9400	0,9141	0,2705	0,0026

CAPC: Carbo-Amino-Phospo-Chelate. Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem estatisticamente.



**Tabela 4.** Desdobramento da interação entre programas vitamínicos e fontes minerais sobre a conversão alimentar de frangos de corte aos 42 dias de idade

	Fonte mineral Inorgânica	Fonte mineral CAPC	Valor de P
Programas Vitamínicos Comercial	1,480 <sup>Ab</sup>	1,521 <sup>Aa</sup>	0,0108
Programas Vitamínicos Otimizado	1,508 <sup>Aa</sup>	1,492 <sup>Ba</sup>	0,1372
Valor de P	0,0916	0,0015	

CAPC: Carbo-Amino-Phospo-Chelate. Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na coluna e minúsculas nas linhas diferem estatisticamente.

Os resultados obtidos para conversão alimentar, observados nesse experimento, indicam que há uma interdependência entre fontes minerais e vitamínicas. As recomendações nutricionais para níveis vitamínicos das dietas de aves são muito antigas e poucos trabalhos atuais discutem essas exigências, considerando a evolução genética para o ganho de peso. A suplementação das dietas de frangos de corte de linhagens de rápido crescimento com fontes e níveis superiores de vitaminas e minerais podem melhorar a integridade e morfometria intestinal, bem como o desenvolvimento da mucosa intestinal e proteger os enterócitos do estresse oxidante pró-apoptótico, resultando em maior eficiência de absorção de nutrientes<sup>(22)</sup>.

A suplementação extra de vitaminas e minerais tem sido uma técnica adotada nas formulações de rações para aves submetidas às diferentes situações de estresse: térmico, imunológico ou alta densidade de criação. Trabalhos demonstraram melhor desempenho produtivo de aves suplementadas com níveis mais elevados de vitaminas, apenas em situação de estresse térmico<sup>(15, 23, 24)</sup>.

Os estudos acerca da suplementação mineral em dietas para frangos de corte nem sempre apresentam resultados consistentes, especialmente em relação aos índices de desempenho<sup>(25,26)</sup>. No entanto, a maioria dos resultados obtidos indica que minerais fornecidos em formas mais biodisponíveis são eficazes e podem substituir, com vantagens, as formas inorgânicas. Um dos principais benefícios é a inclusão em níveis mais baixos, o que pode reduzir o teor de minerais nas excretas das aves<sup>(27)</sup>.

Por outro lado, Gai et al.<sup>(28)</sup> atribuíram ao aumento dos níveis de suplementação de vitamina A e E uma melhor conversão alimentar de frangos de corte em situações de temperatura termoneutra, a exemplo do resultado relatado no presente trabalho.

A avaliação das medidas ósseas da tíbia dos frangos de corte não apresentou diferença estatística ( $P>0,05$ ) para a suplementação vitamínica e/ou fonte de minerais (Tabela 5).

**Tabela 5.** Medidas ósseas da tíbia dos frangos de corte, aos 42 dias de idade, recebendo dietas suplementadas com diferentes programas vitamínicos e fontes minerais

	<b>Peso (g)</b>	<b>Comprimento (mm)</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Resistência óssea (kg)</b>	<b>Seedor</b>	<b>Espessura (mm)</b>
<b>Programa Vitamínico</b>						
Comercial	37,04	113,64	8,24	40,62	326,0	1,50
Otimizado	37,17	113,09	8,19	41,83	328,4	1,53
<b>Fonte mineral</b>						
Inorgânica	36,66	112,98	8,28	41,15	324,5	1,54
CAPC	37,52	113,75	8,16	41,26	329,7	1,50
CV, %	10,55	2,83	8,54	25,58	10,05	16,89
<b>Análise de variância (Valor P)</b>						
Vitaminas (V)	0,8884	0,3865	0,7280	0,5378	0,7270	0,5734
Minerais (M)	0,2570	0,2230	0,4198	0,9525	0,4012	0,5167
V x M	0,5478	0,4082	0,2630	0,7591	0,3854	0,1129

CAPC: Carbo-Amino-Phospo-Chelate.

Houve efeito significativo ( $p < 0,05$ ) da suplementação de fontes minerais sobre os índices de luminosidade ( $L^*$ ) e índice de amarelo ( $b^*$ ). A suplementação das dietas com fontes CAPC resultou em maiores índices  $L^*$  e  $b^*$  quando comparadas às dietas com fonte mineral inorgânica, ou seja, apresentaram uma coloração mais clara do tecido muscular que a observada para as aves suplementadas com dietas contendo fontes de minerais inorgânicos (Tabela 6), o que demonstra que a suplementação das dietas com minerais na forma CAPC resulta em um osso mais compacto, apesar das medidas ósseas não terem sido diferentes em função da suplementação mineral. A porosidade óssea é uma característica não mensurada nesse estudo, entretanto, o menor extravasamento de sangue para o tecido muscular adjacente da perna das aves, medido pelo espectro de cor  $*b$  indica indiretamente uma coloração mais clara da carne *in natura*.

**Tabela 6.** Análise de cor após o abate em tecido muscular adjacente ao osso da tíbia dos frangos de corte, aos 42 dias de idade, recebendo dietas suplementadas com diferentes programas vitamínicos e fontes minerais

	Valor L*	Índice a*	Índice b*
Programa Vitamínico			
Comercial	47,32	4,918	10,77
Otimizado	48,01	4,797	11,03
Fonte mineral			
Inorgânica	46,16 <sup>B</sup>	4,638	10,21 <sup>B</sup>
CAPC	49,14 <sup>A</sup>	5,072	11,59 <sup>A</sup>
CV, %	12,78	58,38	33,63
<b>Análise de variância (Valor P)</b>			
Vitaminas (V)	0,5317	0,8160	0,6986
Minerais (M)	0,0088	0,4127	0,0414
V x M	0,3709	0,4538	0,8481

L\*: índice de luminosidade, \*a: índice de vermelho, b\*: índice de amarelo (b\*).

CAPC: Carbo-Amino-Phospo-Chelate. CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem estatisticamente.

Uma vez que os frangos de corte possuem crescimento rápido, os ossos dessas aves apresentam baixos níveis de mineralização e alta porosidade. Essas características fazem com que as aves estejam mais propensas a lesões e distúrbios tais como o *black bone*<sup>(29)</sup>. A deficiência ou níveis subótimos de alguns minerais podem contribuir para a porosidade dos ossos, uma vez que interferem na expressão de genes relacionados com a atividade de remodelação óssea. O gene do ativador de receptor nuclear fator kB ligante (RANKL), que possui ação estimulatória sobre a atividade osteoclástica do osso e da osteoprotegerina (OPG), que tem ação inibitória, foi alterado na deficiência de Mn<sup>(30)</sup>. Esses autores demonstraram que a relação RANKL/OPG foi aumentada com a deficiência de Mn, levando a maior diferenciação dos osteoclastos e aumento na sua atividade, aumentando assim, a reabsorção e, conseqüentemente, a porosidade óssea.

Elevados graus de porosidade comprometem a estrutura óssea, permitindo o extravasamento do conteúdo medular sobre a superfície do osso, que dissipa pela carne adjacente. Esse efeito é visível após o cozimento e devido ao aspecto bastante escuro do osso foi atribuído a esse distúrbio o termo *black bone*.

Sessenta dias após o abate, a avaliação dos índices de cor das pernas (tíbia e fêmur) descongeladas e cruas não foi alterada pelos tratamentos (Tabela 7), com exceção ao índice L\*, que foi maior para as tíbias das aves suplementadas com níveis vitamínicos comerciais, independentemente do processamento. A comparação do processamento,

apenas congeladas ou congeladas e assadas, mostrou diferenças estatística ( $P < 0,05$ ) para os índices de cor, vermelho ( $a^*$ ) e amarelo ( $b^*$ ), demonstrando que após o processamento por calor, houve extravasamento de sangue. Estes resultados são melhor compreendidos quando desdobrada a interação ( $P < 0,05$ ) entre o processamento e a suplementação de minerais nas dietas (Tabela 8). A suplementação com minerais inorgânicos resultou em maior índice de vermelho ( $a^*$ ), quando as coxas foram descongeladas e assadas, quando comparadas com as coxas das aves suplementadas com fonte de minerais na forma CAPC. Pode ser inferido, que a suplementação com minerais na forma CAPC atuou favoravelmente na mineralização dos ossos, o que limitou o extravasamento de sangue no tecido muscular adjacente ao osso da tíbia. A conservação de coxas e sobrecoxas pelo frio, mais especificamente pelo congelamento, leva a formação de cristais de gelo que rompem as células da medula óssea quando submetidas ao descongelamento e cozimento, ocorrendo extravasamento da hemoglobina presente na medula, principalmente em ossos frágeis ou porosos.

**Tabela 7.** Análise de cor em tecido muscular adjacente ao osso da tíbia descongelada e processada dos frangos de corte, aos 42 dias de idade, recebendo dietas suplementadas com diferentes programas vitamínicos e fontes minerais

	Fêmur			Tíbia		
	Valor L*	Índice a*	Índice b*	Valor L*	Índice a*	Índice b*
<b>Programa Vitamínico</b>						
Comercial	48,74	2,697	12,84	50,12 <sup>a</sup>	1,758	12,14
Otimizado	47,86	2,746	12,85	47,72 <sup>b</sup>	1,537	11,77
<b>Fonte mineral</b>						
Inorgânica	48,23	2,823	12,94	48,39	1,705	11,61
CAPC	48,35	2,616	12,74	49,41	1,581	12,31
<b>Processamento</b>						
Congelado	49,47	2,109 <sup>b</sup>	9,900 <sup>b</sup>	49,75	1,177	8,311 <sup>b</sup>
Congelado e assado	47,11	3,334 <sup>a</sup>	15,78 <sup>a</sup>	48,02	2,120	15,66 <sup>a</sup>
CV, %	19,72	81,12	25,03	18,93	108,70	28,87
<b>Análise de variância (Valor P)</b>						
Vitaminas (V)	0,4751	0,8373	0,9691	0,0403	0,3771	0,3098
Minerais (M)	0,9066	0,4555	0,6209	0,3419	0,5783	0,0849
Processamento (P)	0,5770	<0,0001	<0,0001	0,1941	0,0001	<0,0001
V x M	0,7623	0,1918	0,5932	0,1414	0,1212	0,8107
V x P	0,8828	0,8743	0,4304	0,1496	0,5650	0,4456
M x P	0,2914	0,4926	0,6516	0,5435	0,0030	0,7369
V x M x P	0,7680	0,3349	0,7264	0,2090	0,3154	0,2929

CAPC: Carbo-Amino-Phospo-Chelate. CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem estatisticamente.

**Tabela 8.** Desdobramento da interação entre fonte de minerais e processamento no índice de vermelho (a\*) das tíbias de frangos de corte

Processamento	Fonte mineral		Valor de P
	Inorgânica	CAPC	
Congelado	0,8980 <sup>Ba</sup>	1,4667 <sup>Aa</sup>	0,0713
Congelado e Assado	2,5137 <sup>Aa</sup>	1,6995 <sup>Ab</sup>	0,0216
Valor de P	<0,001	0,5010	

CAPC: Carbo-Amino-Phospo-Chelate. Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na coluna e minúsculas nas linhas, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

A síndrome do osso negro (*black bone syndrome*) ocorre em cerca de 30% das coxas e sobrecoxas de frangos de corte. O escurecimento ósseo e a difusão da coloração na carne adjacente, principalmente após o cozimento, pode ser intensificada pelo congelamento e descongelamento da carne. Após estes processos os ossos apresentam aspecto escuro antes do cozimento e após, a cor vermelha muda para marrom ou cinza e em casos graves, para a cor negra<sup>(29, 31)</sup>. A aparência da carne é uma das primeiras características observadas pelos consumidores, sendo a cor um atributo que influencia a aceitação do consumidor na compra de carne de frango.

A longo prazo a solução pode estar na seleção genética dos reprodutores, com ênfase na estrutura óssea das aves. Soluções rápidas estão relacionadas à nutrição e os nutrientes mais óbvios a serem considerados para melhora da síndrome do osso negro são Ca, P e vitamina D, sendo o foco das pesquisas para os níveis e formas da vitamina D<sup>(31,32)</sup>. Whitehead<sup>(31)</sup> já demonstrou que a suplementação com vitamina D (25-OHD<sub>3</sub>) reduziu a incidência desta síndrome.

Encontrar estratégias nutricionais, genética e/ou de manejo é uma necessidade para que haja melhoras na produção dos produtos de origem animal, como carne, ovos e leite, tanto a nível quantitativo como qualitativo<sup>(8)</sup>.

## Conclusão

A suplementação de dietas com associação de programas vitamínicos otimizados e fonte mineral CAPC, em comparação aos programas convencionais, resultou em desempenho produtivo semelhante. Contudo, a suplementação com fonte mineral CAPC resultou em coloração mais clara das coxas descongeladas e assadas, indicando menor extravasamento de sangue pelos poros da parede cortical dos ossos. Fontes mais biodisponíveis de minerais permitem reduzir a sua inclusão nas dietas e diminuir o impacto negativo da excreção de minerais e do seu efeito poluidor sobre o meio ambiente.

## Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

## Referências

1. UBABEF - União Brasileira de Avicultura. Carne de frango, uma unanimidade que vai do norte ao sul do Brasil. Revista Avicultura Brasil. 2012; 1:8-14.
2. National Research Council - NRC. Nutrient requirements of poultry. 9.ed. Washington: National Academy of Sciences; 1994.
3. Mota MM, Hermes RG, Araújo CSS, Pereira ASC, Ultimi NBP, Leite BGS, Araújo LF. Effects on meat quality and black bone incidence of elevated dietary vitamin levels in broiler diets challenged with aflatoxin. *Animal*. 2019; 13(12): 2932-2938.
4. Marks HL. Growth rate and feed intake of selected and nonselected broilers. *Growth*. 1979; 43: 80-90.
5. Jensen LS. Fat soluble vitamin problems in biochemical diagnosis. Athens, University of Georgia. Georgia Nutrition Council. 1974: 14.
6. Anderson JJB, Toverud SU. Diet and vitamin D: a review an emphasis on human function. *The Journal of Nutritional Biochemistry*. 1994; 5(2): 58-65.
7. Champe PC, Harvey RA, Ferrier DR. *Bioquímica Ilustrada*. Porto Alegre: Artmed; 2006
8. Hutton KC, Vaughn MA, Litta G, Turner J, Starkey JD. 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*. 2014; 92(8): 3291-3299.
9. Vignale K, Greene ES, Caldas JV, England JA, Boonsinchai N, Sodsee P, et al. 25-hydroxycholecalciferol enhances male broiler breast meat yield through the mtor pathway. *The Journal of Nutrition*. 2015; 145: 855–863.
10. Garcia AFQM, Murakami A E, Duarte CRA, Rojas ICO, Picoli KP, 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*. 2013; 26: 408-415.
11. Applegate TJ, Angel TJ, Angel R. Los metabolites de la vitamin D son prometedores para uso en dietas avícolas. In: *Vademécum avícola*. Santiago: Centrovét; 2005.
12. Sanda ME, Ezeibe COM, Anene B.M. Effects of Vitamins A, C and E and Selenium on Immune Response of Broilers to Newcastle Disease (ND) Vaccine. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*. 2015; 8:13-15.
13. Vieira R, Ferket P, Malheiros R, Hannas M, Crivellari R, Moraes V, Elliott S. Feeding low dietary levels of organic trace minerals improves broiler performance and reduces excretion

of minerals in litter. *British Poultry Science*. 2020; 61(5): 574-582.

14. Bao YM, Choct M, IJI P. A effect of organically complexed copper, iron, manganese, and zinc on broiler performance, mineral excretion, and ac- cumulation in tissues. *Journal of Applied Poultry Resesearch*. 2007: 16448-455.
15. . Savaram Venkata RR, Bhukya P, Raju MVLN, Ullengala R. Effect of Dietary Supplementation of Organic Trace Minerals at Reduced Concentrations on Performance, Bone Mineralization, and Antioxidant Variables in Broiler Chicken Reared in Two Different Seasons in a Tropical Region. *Biological trace element research*. 2020; doi: [10.1007/s12011-020-02481](https://doi.org/10.1007/s12011-020-02481). PMID: 33216320.
16. Khatun A, Chowdhury SD, Roy BC, Dey B, Haque A, Chandran B. Comparative effects of inorganic and three forms of organic trace minerals on growth performance, carcass traits, immunity, and profitability of broilers. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*. 2019; 6(1): 66-73.
17. Baloch Z, Yasmeen N, Pasha TN. Effect of replacing inorganic with organic trace minerals on growth performance, carcass characteristics and chemical composition of broiler thigh meat. *African Journal of. Agricultural Research*. 2017; 12(18):1570–1575.
18. Sakomura NK, Rostagno HS. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. Jaboticabal: Funep; 2007.
19. Seedor JG, Quarraccio HH, Thompson DD. The biophosphonate alendronate (mk-217) inhibits bone loss due to ovariectomy in rats. *Journal of Bone and Mineral Research*. 1991; 6(4): 339-346.
20. Whitehead CC, McCormack HA, Mcteir I, Fleming R H. The maximum legal limit for vitamin D3 in broiler diets may need to be increased. *British Poultry Science*. 2004; 45: 24-26.
21. Nelder J, Wedderman R. Generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*.1972; 135: 370–384.
22. Sugiharto S, Isroli I, Yudiarti T, Widiastuti E. The effect of supplementation of multistrain probiotic preparation in combination with vitamins and minerals to the basal diet on the growth performance, carcass traits, and physiological response of broilers. *Veterinary World*. 2018; 11(2): 240-24.
23. Vaz RGMV, Oliveira RF, Donzele JL, Albino LFT, Sirqueira JC, Oliveira WP, et al. 2014. Níveis de vitamin em rações para frangos de corte mantidos em ambiente de alta temperatura no período de 1 a 42 dias de idade. *Bioscience Journal*. 2014; 30(5): 1522-1528.
24. Habibian M, Ghazi S, Mohammad MM. Effects of dietary selenium and vitamin e on growth performance, meat yield, and selenium content and lipid oxidation of breast meat of broilers reared under heat stress. *Biological Trace Element Research*. 2016; 169: 142–152.
25. Funari Júnior P, Albuquerque R, Alves FR, Murarolli MDA, Trindade Neto MA, Silva EM. Diferentes fontes e níveis de selênio sobre o desempenho de frangos de corte. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*. 2010; 47(5): 380-384.

26. Carvalho GB, Lopes JB, Silva SRG, Dourado IRB, Miranda DFH, Costa FAL. Desempenho, morfometria duodenal e histopatologia do fígado de frangos de corte alimentados com dietas contendo diferentes níveis de selênio orgânico em condições de estresse calórico. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*. 2015; 16(2): 365-376.
27. Świątkiewicz S, Arczewska-Włosek A, & Jozefiak D. The efficacy of organic minerals in poultry nutrition: review and implications of recent studies. *World's Poultry Science Journal*. 2014; 70(3): 475-486.
28. Gai ZT, Toledo GSP, Costa PC, Lopes JM, Visentini P, Kloeckner PE. Efeito de níveis alto, médio e baixo das vitaminas A, E, piridoxina (B6), ácido fólico e biotina no desempenho de frangos de corte de 1-42 dias. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 1997; 26(2): 304-309.
29. Baldo GAA, Almeida Paz ICL, Alves MCF, Naas IA, Garcia RG, Caldara FR, Gavilan CWS. Black bone syndrome in chicken meat. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 2013; 15(2): 317-322.
30. Liu R, Jin C, Wang Z, Wang Z, Wang J, Wang L. Effects of manganese deficiency on the microstructure of proximal tibia and OPG/RANKL gene expression in chicks. *Veterinary Research Communications*. 2015; 39(1): 31-37, 2015.
31. Whitehead C. The black bone syndrome in broilers. *International Hatchery Practice*. 2009; 23(8): 7-9.
32. Korver D. Reducing the incidence of black bone. *World Poultry Science*. 2010; 26: 36-38.