

Efeito de linhagem e sexo nas características geométricas e biomecânicas de tíbias de frangos de corte

Denise Torres da Cruz Reis^{1*}, Robledo de Almeida Torres², Anderson de Almeida Barbosa¹, Conrado de Souza Rodrigues³ e George Henrique Kling de Moraes¹

¹Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de Viçosa, Av. P. H. Rolfs, s/n, 36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. ²Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. ³Departamento de Engenharia Civil, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: denisetcr@yahoo.com.br

RESUMO. A criação intensiva de frangos de corte, aliada à nutrição e ao melhoramento genético com foco no ganho de peso, tem resultado em índices crescentes da incidência de problemas de pernas. Dentre as variáveis que podem contribuir para a ocorrência destes problemas, estão a linhagem e o sexo. Neste contexto, avaliaram-se propriedades geométricas e mecânicas de tíbias de frangos de corte, machos e fêmeas, de três linhagens comerciais no período final de crescimento, entre 21 e 42 dias. As características geométricas refletem a resposta adaptativa dos ossos, com relação direta entre suas dimensões e o peso vivo das aves. Quanto às características mecânicas obtidas de ensaios de flexão, observa-se o que o julgamento da robustez óssea pode levar a conclusões diferentes dependendo da variável mecânica considerada. Aves mais pesadas, com ossos maiores, suportam forças maiores na flexão. Entretanto, quando variáveis de resistência intrínsecas do material são consideradas, como resistência à flexão, observa-se que a linhagem mais pesada não apresenta resistência à flexão significativamente diferente das demais. O mesmo ocorre entre machos (mais pesados) e fêmeas. Logo, aves mais pesadas, com tíbias tão resistentes quanto às das aves mais leves, podem ser mais susceptíveis a problemas estruturais de pernas.

Palavras-chave: dimorfismo sexual, ensaios mecânicos, problemas de pernas, resistência óssea.

ABSTRACT. Effects of lineage and sex on geometrical and biomechanical properties of broiler chickens tibias. The intensive rearing of broilers, combined with nutrition and genetic improvement focused on weight gain has resulted in increasing rates of leg problems. Among the variables that may contribute to the occurrence of these problems are sex and lineage. In this context, the study evaluated the geometric and mechanical properties of the tibiae of broilers, male and female, from three commercial lines in the final growth stage, between 21 and 42 days. The geometric characteristics reflect the adaptive response of bone, with a direct relationship between their dimensions and the live weight of birds. As for the mechanical properties obtained from bending tests, it is observed that the evaluation of bone strength can lead to different conclusions depending on the mechanical parameter considered. Heavier birds, with larger bones, support more load in bending. However, when intrinsic strength parameters of the material are considered, such as bending strength, it is observed that the heavier line does not show significantly different values from the others. The same occurred among males (heavier) and females. Thus, heavier birds may be more susceptible to structural leg problems, as their tibias are as strong as those from lighter birds.

Key words: sexual dimorphism, mechanical tests, leg problems, bone strength.

Introdução

Nas últimas décadas, o melhoramento genético de frangos de corte não apenas tornou o crescimento mais rápido e melhorou a conversão alimentar dos frangos, como também alterou a proporção de diferentes músculos na carcaça, o que vem provocando demandas crescentes sobre o sistema ósseo (COOK, 2000). A proporção do peito em relação ao peso corporal foi 1,7 vezes

maior em uma linhagem de 2001 comparada a uma de 1957, alimentadas com a mesma dieta (HAVENSTEIN et al., 2003a e b).

Esta prática tem aumentado o músculo do peito e diminuído a proporção dos músculos e ossos da perna, provocando disfunções estruturais ósseas que, conseqüentemente, comprometem a locomoção normal das aves (NESTOR et al., 1985). O resultado desse processo se traduz em animais com

baixo desempenho no crescimento, rejeição de carcaça, aumento da mortalidade e, de forma geral, redução na eficiência da produção comercial (EMMERSON et al., 1991).

As causas dos problemas de pernas são variadas e não se restringem ao crescimento rápido e ganho de peso precoce (WILLIAMS et al., 2004). O desbalanço esquelético-biomecânico, decorrente do processo de seleção, pode sofrer influência de fatores genéticos e sexuais, determinando a prevalência de certas deformidades e a maior susceptibilidade de algumas linhagens (ANGEL, 2007; KESTIN et al., 1992; LILBURN, 1994; ROSE et al., 1996). Na tentativa de reduzir a mortalidade e aumentar o bem-estar das aves, variáveis relacionadas à robustez do esqueleto já vêm sendo consideradas em programas de melhoramento como auxiliares na identificação e eliminação de cruzamentos mais susceptíveis aos problemas de pernas, resultando na redução da incidência destes problemas de 3 para 1,9% entre 1994 e 2000 (FLOCK et al., 2005).

A representação de características de robustez do esqueleto em termos de parâmetros mecânicos, no entanto, nem sempre é expressa adequadamente na literatura. A força máxima atingida em ensaios de flexão tem sido comumente utilizada como parâmetro de resistência (RATH et al., 1999). Neste caso, interferem no resultado tanto a geometria da amostra quanto as características do material que a constitui (TURNER; BURR, 1993). Quando excluída a influência da geometria nos resultados de ensaios mecânicos, tem-se a representação de propriedades intrínsecas ao material testado, possibilitando a identificação de ossos de melhor formação e desempenho estrutural.

Neste contexto, este trabalho apresenta um estudo experimental comparativo de aspectos geométricos e biomecânicos de tíbias de machos e fêmeas de três linhagens comerciais de frangos de corte na fase final de crescimento, entre 21 e 42 dias de idade.

Material e métodos

O experimento foi realizado na Granja de Melhoramento de Aves do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Seiscentos pintos de um dia de idade, machos e fêmeas, provenientes de dois híbridos da UFV (H1 e H2) e de uma marca comercial (H3) foram identificados, vacinados contra Boubá Aviária e Marek, separados por linhagem e alojados em boxes. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 2 (três grupos genéticos e dois sexos) e com cinco repetições distintas para cada idade (21, 28, 35 e 42 dias), sendo a unidade experimental representada pelo box, cada um com cinco machos e cinco fêmeas da mesma linhagem.

Os boxes utilizados apresentam dimensões de 1,25 x 1,80 m, com piso de cimento, cobertos com maravalha, em um galpão de alvenaria com pé direito de 3,0 m de altura, coberto com telhas de cimento amianto, com lanternim e laterais com muretas dotadas de cortinas plásticas para controle da temperatura e de correntes de ar. O programa de luz adotado foi o contínuo, com 24h de luz (natural + artificial), utilizando-se lâmpadas de 60 W. Todas as aves receberam o mesmo tratamento, sendo fornecidas água e ração à vontade.

Foi utilizado um esquema nutricional composto por três rações: ração inicial (1 a 21 dias), crescimento (22 a 35 dias) e final (36 a 42 dias), calculadas para atender às exigências nutricionais das aves em cada fase, e cujas composições são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Composição das rações experimentais.

Ingredientes (%)	Inicial (1-21 dias)	Crescimento (22-35 dias)	Final (36-42 dias)
Farelo de soja	38,9	33,6	28,31
Milho	53,48	59,07	65,24
Óleo de soja	3,10	3,6	3,10
Fosfato bicálcico	2,64	1,88	1,8
Calcário	0,83	0,89	0,84
DL-Metionina (99%)	0,24	0,21	0,14
L-Lisina	0,10	0,08	-
Sal	0,39	0,39	0,39
Cloroto de colina 60%	0,10	0,06	0,03
Suplemento vitamínico ¹	0,10	0,10	0,10
Suplemento mineral ²	0,05	0,05	0,05
Salinomicina	0,06	0,05	-
BHT ³	0,01	0,01	0,01
Composição calculada			
Energia metabolizável (kcal g ⁻¹)	2960	3066	3125
Proteína bruta (%)	22,30	20,37	18,48
Cálcio (%)	1,111	0,93	0,881
Fósforo disponível (%)	0,604	0,458	0,439
Lisina (%)	1,324	1,167	0,967
Metionina (%)	0,582	0,529	0,434

¹Premix vitamínico por kg do produto: vit. A- 10.000.000 UI; vit. D3- 2.000.000 UI; vit. E- 30.000 UI; vit. B1- 2,0 g; vit. B6- 4,0 g; ác. pantotênico- 12,0 g; biotina- 0,10 g; vit. K3- 3,0 g; ác. Fólico- 1,0 g; ác. nicotínico- 50,0 g; vit. B12- 15.000 mcg; Se- 0,25 g e veículo q.s.p.- 1.000 g. ²Premix mineral por kg de ração: Mn: 16,0 g; Fe: 100,0 g; Zn: 100,0 g; Cu: 20,0g; Co: 2,0 g; I: 2,0 g e veículo q.s.p.- 1.000 g. ³Antioxidante (Beta-Hidroxi-Butil-Tolueno-BHT)- 10 g e veículo q.s.p.-1000 g.

Aos 21, 28, 35 e 42 dias de idade, um macho e uma fêmea por boxe, num total de cinco boxes por linhagem, foram pesados, sacrificados por deslocamento cervical e tiveram as tíbias removidas. Após a determinação do peso e comprimento, as tíbias foram armazenadas a -20°C. Os ensaios mecânicos foram realizados com as tíbias descongeladas até a temperatura ambiente. As propriedades mecânicas foram determinadas por meio de ensaios de flexão em três pontos, com os ossos apoiados em suas extremidades e a carga mecânica aplicada no centro da diáfise. Para tanto, foi empregada uma máquina universal de ensaios mecânicos como ilustrado na Figura 1.

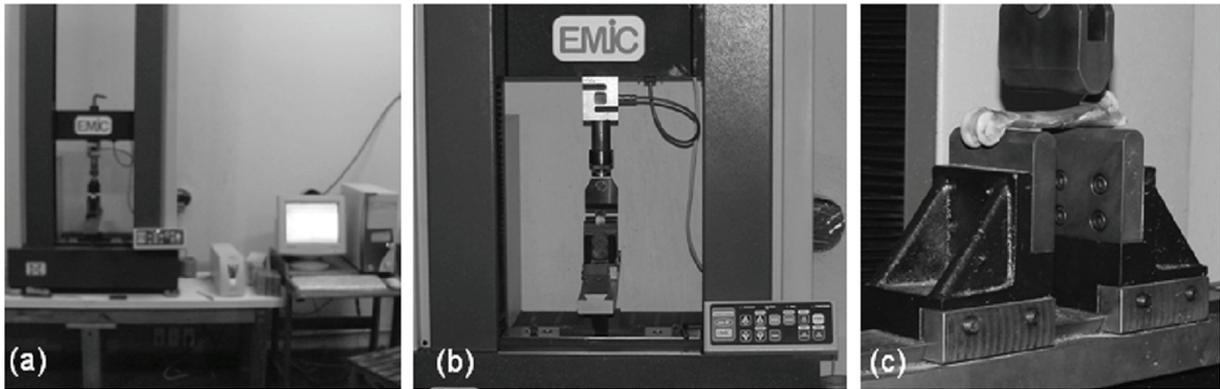


Figura 1. (a) máquina universal de ensaios e sistema de aquisição de dados; (b) aplicação de carregamento; (c) detalhe da disposição das tíbias na flexão em três pontos.

A taxa de aplicação de carga foi de 10 mm min^{-1} , como especificado pela Sociedade Americana de Engenharia Agrícola (ASAE, 1998). A distância entre os dois apoios variou com a idade das aves, acompanhando o aumento do comprimento longitudinal dos ossos, sendo de 42, 48, 56 e 66 mm para as tíbias das aves com 21, 28, 35 e 42 dias de idade, respectivamente.

Após os ensaios, foram medidos os diâmetros internos e externos da seção transversal rompida de maneira a possibilitar o cálculo dos parâmetros geométricos de cada amostra, necessários à determinação das propriedades mecânicas. Para tanto, a seção transversal das tíbias foi assumida como uma elipse oca (ASAE, 1998). Além da área da seção transversal, A , Equação 1, foi determinado o momento de inércia, I , que expressa a contribuição da geometria (forma e dimensões) para as características de resistência do osso (DOWLING, 2007; TURNER; BURR, 1993). Para uma elipse oca, o momento de inércia é determinado segundo a Equação 2, em que D e d representam os diâmetros externo e interno, respectivamente, correspondentes à altura da seção transversal, e B e b representam os diâmetros externo e interno, respectivamente, correspondentes à largura do osso, de acordo com sua disposição no ensaio de flexão e como esquematizado na Figura 2.

$$A = \pi(BD - bd) \tag{1}$$

$$I = 0,049[(B.D^3) - (b.d^3)] \tag{2}$$

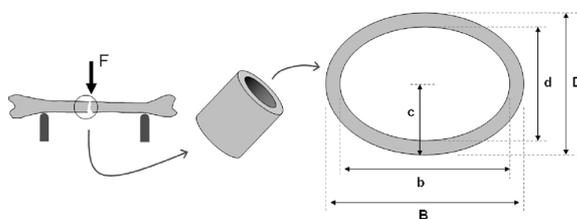


Figura 2. Representação da seção transversal das tíbias como uma elipse oca.

Durante os ensaios, os dados referentes à carga aplicada, F , e à deflexão correspondente, δ , foram registrados continuamente compondo a curva de carregamento, a partir da qual são estabelecidos os parâmetros mecânicos. Estes parâmetros são esquematizados na Figura 3, que apresenta uma curva de carregamento típica das tíbias estudadas.

A resistência à flexão, ou módulo de ruptura, MOR, expressa uma propriedade intrínseca do material que constitui o osso, independente do tamanho e da forma de cada amostra. Para ensaios de flexão em três pontos, o MOR é calculado segundo a Equação 3, em que F_{max} é a força máxima suportada pela amostra, L a distância entre os dois apoios, c a metade da altura da seção transversal e I o momento de inércia. Por meio destas três últimas variáveis, são levadas em consideração as características de geometria do ensaio e de cada amostra, possibilitando que sejam comparados os valores de MOR das diversas tíbias em termos, unicamente, das variações em sua constituição.

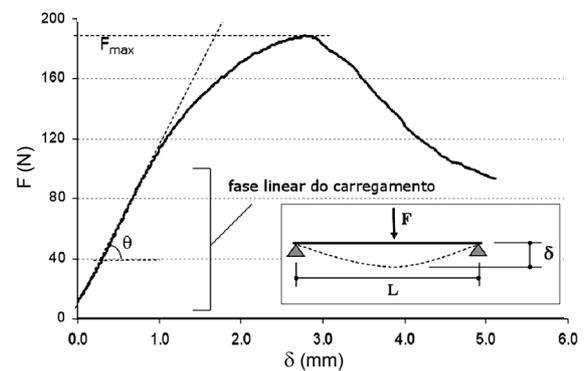


Figura 3. Curva de carregamento típica das tíbias ensaiadas.

$$MOR = \frac{F_{\text{max}} . L . c}{4 . I} \tag{3}$$

O quanto um material se deforma quando submetido a carregamento mecânico, ou seja, sua rigidez, pode ser expressa pelo módulo de elasticidade, E . Este parâmetro mecânico também é uma característica intrínseca do material constituinte do osso, sendo independente das dimensões e forma das amostras (DOWLING, 2007; TURNER; BURR, 1993). O módulo de elasticidade é definido pela reta que caracteriza a fase inicial do carregamento, quando o material experimenta deformação elástica (reversível) e há proporcionalidade entre F e δ . E é calculado segundo a Equação 4, em que $\text{tg}\theta = \Delta F / \Delta \delta$ representa a inclinação da reta na fase elástica do carregamento.

$$E = \text{tg}\theta \cdot \frac{L^3}{48.I} \quad (4)$$

A análise estatística dos resultados experimentais foi realizada empregando-se o Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas – UFV (SAEG, 2000). Para efeitos significativos ($p \leq 0,05$), as médias foram testadas pelo teste SNK (Student Newman Keuls).

Resultados e discussão

Nas Tabelas 2 e 3 são apresentados o peso vivo das aves e as variáveis geométricas e biomecânicas

das tíbias das três linhagens (Tabela 2) e de machos e fêmeas (Tabela 3) que foram analisados separadamente uma vez que não foi observada interação entre linhagem ($p > 0,05$) e sexo ($p > 0,05$) na maioria das variáveis avaliadas. Exceção foram as variáveis resistência à flexão ($p < 0,05$) e módulo de elasticidade ($p < 0,01$) em que foi observada interação aos 35 dias (Tabela 4).

Em todas as idades analisadas, a linhagem H3 apresentou maior peso vivo que H1 e H2 ($p < 0,01$), que não diferiram entre si (Tabela 2). Entre os sexos, os machos foram mais pesados que as fêmeas em todas as idades ($p < 0,01$) (Tabela 3) sendo este efeito consequência do dimorfismo sexual descrito por Yalçin et al. (2001). A diferença do ganho de peso observada entre os grupos estudados influenciou diretamente as características geométricas dos ossos, tendo sido o peso vivo um fator determinante sobre estas características. As aves mais pesadas, machos e linhagem H3, apresentaram tíbias mais pesadas, mais longas e com maior área da seção transversal. Leterrier e Niss (1992) avaliaram linhagens com diferentes taxas de ganho de peso e encontraram resultado semelhante, sendo demonstrada correlação entre a dimensão e peso das tíbias com o peso vivo das aves.

Tabela 2. Peso vivo e efeito da linhagem nos aspectos geométricos e biomecânicos das tíbias.

Características	Idade (dias)	Linhagens		
		H1	H2	H3
Peso vivo (g)	21	663,8 ± 70,82 ^b	668,9 ± 62,73 ^b	864,8 ± 91,03 ^a
	28	1093,6 ± 143,65 ^b	1066,8 ± 150,13 ^b	1434,4 ± 188,99 ^a
	35	1280,4 ± 229,67 ^b	1327,4 ± 193,76 ^b	1653,4 ± 189,89 ^a
	42	1937,8 ± 227,05 ^b	1811,5 ± 390,70 ^b	2505,5 ± 362,96 ^a
Peso do osso (g)	21	5,76 ± 1,00 ^b	5,88 ± 0,97 ^b	7,26 ± 1,07 ^a
	28	9,28 ± 1,57 ^b	9,57 ± 1,57 ^b	11,72 ± 1,97 ^a
	35	11,88 ± 1,98 ^b	12,61 ± 2,35 ^b	14,43 ± 2,02 ^a
	42	17,26 ± 3,23 ^{ns}	17,6 ± 3,52 ^{ns}	19,4 ± 4,01 ^{ns}
Comprimento do osso (cm)	21	7,1 ± 0,23 ^b	7,18 ± 0,24 ^b	7,38 ± 0,22 ^a
	28	8,37 ± 0,27 ^b	8,47 ± 0,29 ^b	8,75 ± 0,19 ^a
	35	9,34 ± 0,42 ^b	9,5 ± 0,36 ^{ab}	9,75 ± 0,26 ^a
	42	10,46 ± 0,37 ^{ns}	10,7 ± 0,58 ^{ns}	10,75 ± 0,54 ^{ns}
Área (cm ²)	21	0,18 ± 0,04 ^b	0,17 ± 0,03 ^b	0,21 ± 0,04 ^a
	28	0,23 ± 0,05 ^b	0,24 ± 0,05 ^{ab}	0,28 ± 0,07 ^a
	35	0,23 ± 0,03 ^b	0,24 ± 0,05 ^b	0,28 ± 0,05 ^a
	42	0,43 ± 0,09 ^a	0,31 ± 0,07 ^b	0,35 ± 0,07 ^b
Força máxima (N)	21	142,32 ± 34,88 ^{ns}	146,29 ± 26,14 ^{ns}	166,12 ± 31,89 ^{ns}
	28	217,83 ± 49,97 ^{ns}	223,30 ± 55,07 ^{ns}	185,62 ± 69,41 ^{ns}
	35	183,84 ± 53,80 ^b	185,62 ± 39,13 ^b	252,64 ± 69,92 ^a
	42	277,13 ± 80,89 ^{ns}	231,37 ± 77,18 ^{ns}	276,51 ± 57,92 ^{ns}
Resistência à flexão (MPa)	21	100,24 ± 21,02 ^{ns}	108,05 ± 14,57 ^{ns}	100,10 ± 14,04 ^{ns}
	28	117,66 ± 18,46 ^{ns}	112,48 ± 25,82 ^{ns}	108,85 ± 17,05 ^{ns}
	35	86,36 ± 23,66 ^b	111,18 ± 22,96 ^a	104,92 ± 15,69 ^{ab}
	42	0,42 ± 1,71 ^{ns}	0,38 ± 1,28 ^{ns}	0,49 ± 1,47 ^{ns}
Momento de inércia x10 ⁻¹⁰ (m ⁴)	21	0,71 ± 3,23 ^{ns}	0,80 ± 4,34 ^{ns}	0,95 ± 5,14 ^{ns}
	28	0,89 ± 2,52 ^a	0,96 ± 4,75 ^a	1,20 ± 4,12 ^a
	35	2,30 ± 10,16 ^a	1,20 ± 5,88 ^a	1,70 ± 6,65 ^a
	42	3,437 ± 0,82 ^{ns}	3,601 ± 0,50 ^{ns}	3,160 ± 0,51 ^{ns}
Módulo de elasticidade (GPa)	28	3,895 ± 1,39 ^{ns}	3,920 ± 1,21 ^{ns}	3,922 ± 0,87 ^{ns}
	35	3,294 ± 1,01 ^b	5,088 ± 1,24 ^a	4,821 ± 1,34 ^a
	42			

As médias seguidas pela letra minúscula nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste SNK ($p > 0,05$). ^{ns}não-significativo.

Tabela 3. Peso vivo e efeito do sexo nos aspectos geométricos e biomecânicos das tíbias.

Características	Idade (dias)	Machos	Fêmeas
Peso vivo (g)	21	785,8 ± 121,29 ^a	679,2 ± 96,45 ^b
	28	1325,46 ± 212,19 ^a	1071,06 ± 170,11 ^b
	35	1559,33 ± 228,59 ^a	1286,80 ± 211,43 ^b
	42	2305,06 ± 381,47 ^a	1865,00 ± 401,15 ^b
Peso do osso (g)	21	6,95 ± 1,26 ^c	5,65 ± 0,77 ^b
	28	11,65 ± 1,42 ^c	8,73 ± 1,16 ^b
	35	14,66 ± 1,96 ^c	11,29 ± 1,63 ^b
	42	20,59 ± 2,88 ^c	15,58 ± 2,12 ^b
Comprimento do osso (cm)	21	7,33 ± 0,26 ^c	7,11 ± 0,19 ^b
	28	8,68 ± 0,26 ^c	8,38 ± 0,27 ^b
	35	9,72 ± 0,28 ^c	9,35 ± 0,40 ^b
	42	10,96 ± 0,41 ^c	10,32 ± 0,34 ^b
Área (cm ²)	21	0,21 ± 0,03 ^c	0,16 ± 0,02 ^b
	28	0,29 ± 0,05 ^c	0,21 ± 0,03 ^b
	35	0,29 ± 0,05 ^c	0,22 ± 0,03 ^b
	42	0,41 ± 0,07 ^c	0,32 ± 0,09 ^b
Força máxima (N)	21	171,12 ± 24,90 ^a	132,04 ± 24,68 ^b
	28	272,34 ± 49,40 ^a	190,08 ± 28,45 ^b
	35	235,86 ± 67,19 ^a	178,87 ± 51,49 ^b
	42	296,50 ± 61,43 ^a	226,83 ± 69,22 ^b
Resistência à flexão (MPa)	21	100,00 ± 15,31 ^{ms}	105,64 ± 17,44 ^{ms}
	28	107,55 ± 22,57 ^{ms}	118,44 ± 14,98 ^{ms}
	42	95,72 ± 20,34 ^{ms}	105,92 ± 24,55 ^{ms}
	Momento de inércia x10 ⁻¹⁰ (m ⁴)	21	5,19 ± 1,38 ^c
28		10,82 ± 4,32 ^c	5,70 ± 1,44 ^b
35		12,81 ± 3,72 ^c	7,96 ± 3,11 ^b
42		21,30 ± 7,84 ^c	13,90 ± 7,91 ^b
Módulo de elasticidade (GPa)	21	3,053 ± 0,50 ^b	3,745 ± 0,60 ^a
	28	3,138 ± 0,89 ^b	4,686 ± 0,69 ^a
	42	3,697 ± 0,79 ^b	5,105 ± 1,52 ^a

As médias seguidas pela letra minúscula nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste SNK (p > 0,05). ^{ms}não-significativo

No entanto, Williams et al. (2000) observaram a redução do comprimento do osso em relação ao peso vivo nas aves com maior taxa de crescimento, o que consideraram vantajoso para as aves pelo fato de ossos mais curtos suportarem maiores cargas em flexão.

A Figura 4 ilustra a correlação linear entre a área da seção transversal do osso (A) e o peso vivo (PV) das aves para as diferentes linhagens (Figura 4a) e para machos e fêmeas (Figura 4b).

O aumento linear da área da seção transversal das tíbias com o peso vivo das aves foi também observado por Leterrier et al. (1998), e, segundo Currey (2003), representa uma resposta adaptativa do osso para suportar maior carga durante o processo de crescimento, uma vez que uma maior área da seção transversal envolveria maior quantidade de tecido ósseo resistindo aos esforços mecânicos (WILLIAMS et al., 2004). Entretanto, a adequação das dimensões ósseas ao aumento de peso das aves não necessariamente reflete em melhora da qualidade da matriz óssea quando esta é avaliada em termos do conteúdo de cinzas ou densidade (LETERRIER; NYS, 1992; WILLIAMS et al., 2000). A resistência mecânica do tecido ósseo também não é maior. Tal fato é evidenciado pela não-diferenciação da resistência à flexão entre as linhagens e sexo (Tabelas 2 e 3). Ou seja, o crescimento rápido do osso imposto pelas altas taxas de ganho de peso não permite a formação adequada do tecido ósseo,

resultando em materiais de baixo desempenho mecânico.

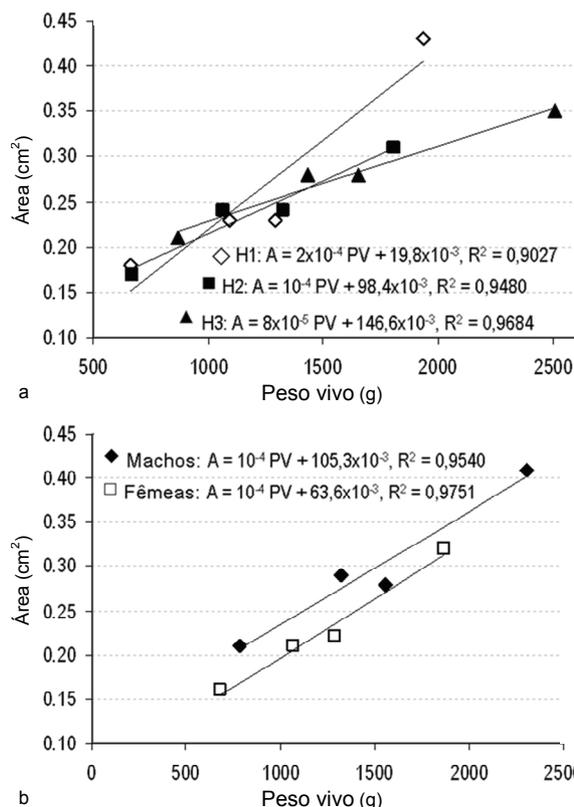


Figura 4. Variação da área da seção transversal do osso com o peso vivo para linhagens (a) e sexo (b).

A linhagem H1, embora mais leve, apresentou área da seção transversal maior (p < 0,01) que as demais linhagens aos 42 dias, exibindo, portanto, uma resposta adaptativa diversa do esperado (Tabela 2). O efeito do peso vivo sobre o aumento da área da seção transversal pode ser observado na Figura 5, onde são apresentadas imagens da seção transversal das tíbias dos cruzamentos H1 e H3 aos 21 e 42 dias, obtidas com lupa com aumentos de 15 e 30 vezes. Quando comparadas a Figura 5a e b, a linhagem H3, mais pesada, apresentou área nitidamente maior que H1, como esperado. No entanto, observando a Figuras 5c e d é evidenciado que H1, aos 42 dias, apresenta área de seção transversal maior que H3, embora o peso vivo H1 tenha sido inferior (p < 0,01). Porém, avaliando a Figura 5e e f e seu detalhamento, Figura 5e e f, notamos que a elevada taxa de aumento de área de seção transversal da linhagem H1 entre 35 e 42 dias resultou em tíbias com constituição mais porosa que as do híbrido H3 e significativamente menos densas. Em materiais cerâmicos (como a matriz óssea de hidroxiapatita), maior teor de poros se reflete em redução de resistência e rigidez (DOWLING, 2007).

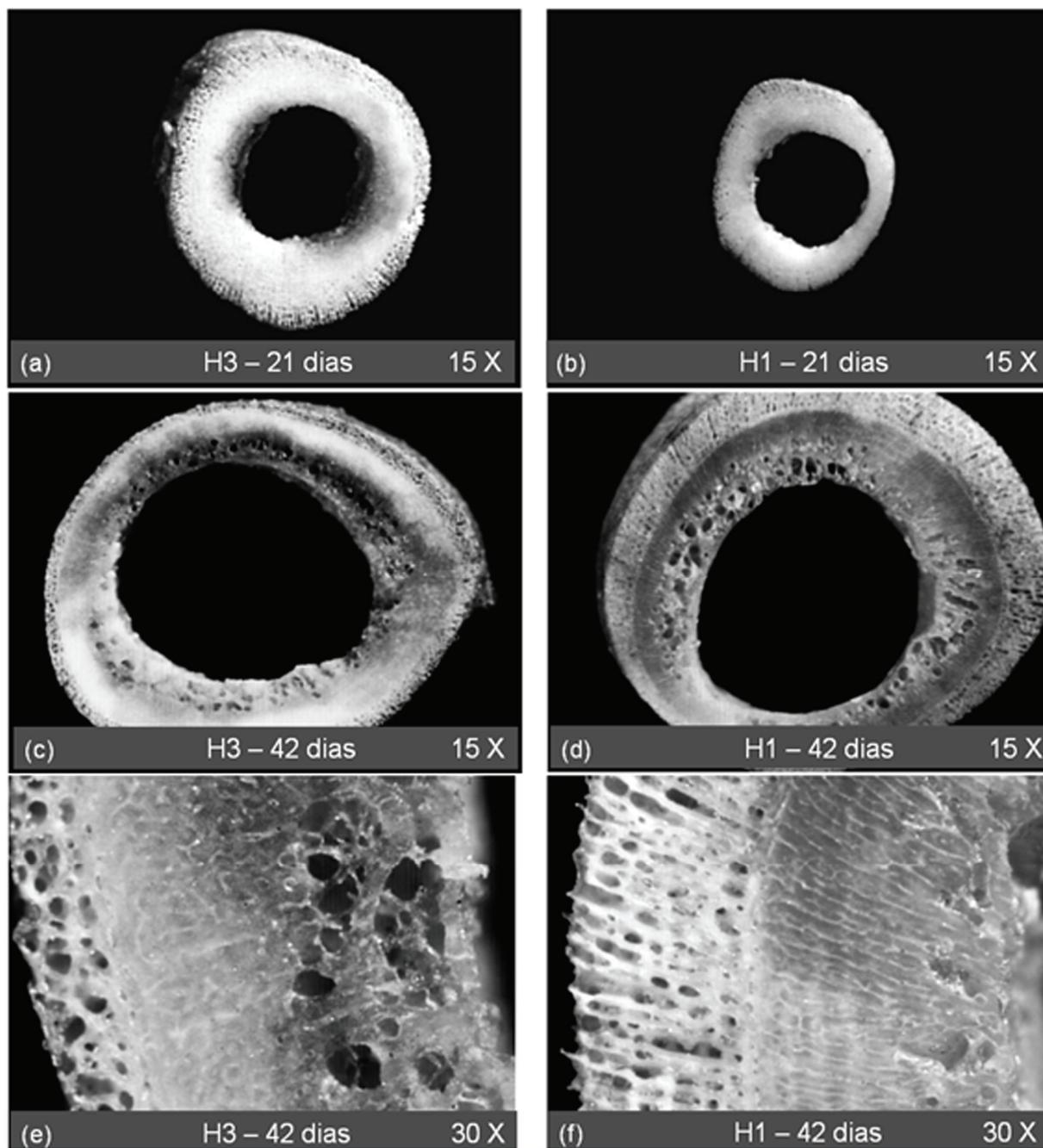


Figura 5. Seção transversal das tíbias de H3 e H1 aos 21 dias (a e b), aos 42 dias (c e d), e detalhe do córtex aos 42 dias (e e f).

Na Tabela 2 observa-se que aos 42 dias a linhagem H1 apresenta rigidez (módulo de elasticidade) menor que H3 e H2 ($p < 0,01$). A resistência à flexão também é inferior, embora a diferença não seja significativa em relação à linhagem H3. Tais observações evidenciam que a rápida expansão da área da seção transversal observada na fase final de crescimento compromete a constituição dos ossos, conseqüentemente tornando-os mais deformáveis quando sujeitos a carregamento. A rigidez e a resistência à flexão das

tíbias não diferiram entre as linhagens aos 21 e 28 dias ($p > 0,05$). Aos 35 dias observou-se interação linhagem x sexo nestas duas características (Tabela 4). Machos e fêmeas da linhagem H1 não diferiram entre si quanto ao módulo de elasticidade ($p > 0,05$). Quanto ao módulo de ruptura, machos e fêmeas do híbrido H2 diferiram ($p < 0,05$), com machos apresentando resistência inferior.

Entre os sexos, o dimorfismo sexual foi determinante na diferença de peso vivo entre machos e fêmeas e conseqüentemente, nas

características geométricas, em concordância com Yalçın et al. (1998).

Tabela 4. Interações linhagem x sexo aos 35 dias.

Resistência à flexão, MOR (MPa)		
Linhagens	Machos	Fêmeas
H1	97,88 ^a	88,62 ^a
H2	81,09 ^b	116,43 ^a
H3	102,82 ^a	101,52 ^a
Módulo de elasticidade, MOE (GPa)		
Linhagens	Machos	Fêmeas
H1	4,105 ^a	3,880 ^a
H2	3,169 ^b	6,142 ^a
H3	3,521 ^b	5,012 ^a

As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste SNK ($p > 0,05$).

As tíbias dos machos apresentaram momento de inércia e força máxima na flexão maiores que as das fêmeas ($p < 0,01$). No entanto, o dimorfismo não influenciou na resistência intrínseca do tecido ósseo, MOR, aos 21, 28 e 42 dias ($p > 0,05$), apresentados na Tabela 3. Ou seja, embora mais pesados, os machos apresentaram tíbias cuja resistência foi equivalente à das fêmeas. Aos 35 dias, no entanto, observa-se interação híbrido x sexo, em que machos e fêmeas do híbrido H2 diferiram entre si ($p < 0,05$), com machos apresentando resistência inferior (Tabela 4). Crenshaw et al. (1981) obtiveram resultados semelhantes em um estudo com suínos, em que os ossos dos machos demonstraram ser menos resistentes que os de fêmeas, quando os parâmetros de resistência empregados na análise comparativa expressavam as propriedades intrínsecas do tecido ósseo e não apenas a carga máxima suportada em flexão.

As tíbias das fêmeas apresentaram rigidez (módulo de elasticidade) significativamente maior que a dos machos aos 21, 28 e 42 dias ($p < 0,01$), o que as torna menos deformáveis. A menor taxa de crescimento das fêmeas tendeu à formação de tíbias mais densas, menos porosas e com maior teor de cinzas, em conformidade com Rose et al. (1996); correlação positiva entre rigidez e teor de minerais foi também observada por Currey (1999) e Williams et al. (2004). Essas observações reforçam os dados da literatura que têm demonstrado que a incidência de deformidades ósseas e dos problemas de locomoção decorrente é menor em fêmeas que em machos (ROSE et al., 1996; YALÇIN et al., 2001).

Conclusão

O estudo comparativo das propriedades geométricas e biomecânicas entre diferentes linhagens e sexo evidenciou o efeito direto do peso vivo sobre as diferentes variáveis testadas. De forma geral, aves mais pesadas, seja consequência da genética ou do dimorfismo sexual, apresentaram

ossos de maiores dimensões. Entretanto, ficou demonstrado que taxas de crescimento elevadas podem resultar em ossos menos resistentes e rígidos.

Entre as variáveis utilizadas para avaliar a resistência óssea, a resistência à flexão, por ser uma característica intrínseca do osso, foi a que melhor permitiu avaliar o efeito do desempenho no crescimento das aves sobre a robustez do esqueleto. Os machos e a linhagem H3, apesar do melhor desempenho no crescimento, não apresentaram ganho proporcional de resistência à flexão, o que pode torná-los mais susceptíveis às deformações e ao surgimento de problemas estruturais de pernas. Isto porque o tecido ósseo se mantém com as mesmas características de resistência, mas sob demanda crescente pelo maior peso vivo. Desta forma, torna-se importante considerar a qualidade óssea do ponto de vista biomecânico durante processo de seleção para ganho de peso, objetivando a redução da ocorrência das desordens locomotoras resultantes desse processo.

Agradecimentos

Ao Professor Ricardo Marius Della Lucia, por viabilizar os ensaios mecânicos, aos alunos da Zootecnia, André Luiz da Costa Paiva, Rafael Bastos Teixeira, Rodrigo Fontes da Silva, Marcos Yamaki e Aroldo Silva Amorim Neto e ao Jefferson, funcionário do Laboratório de Bioquímica Animal, pelo apoio técnico; à CAPES e FAPEMIG, pelo apoio financeiro.

Referências

- ANGEL, R. Metabolic disorders: limitations to growth of and mineral deposition into the broiler skeleton after hatch and potential implications for leg problems. **The Journal of Applied Poultry Research**, v. 16, n. 1, p. 138-149, 2007.
- ASAE-American Society of Agricultural Engineers. Standard S459. **Shear and three-point bending test of animal bone**. St. Joseph: ASAE, 1998.
- COOK, M. E. Skeletal deformities and their causes: Introduction. **Poultry Science**, v. 79, n. 7, p. 982-984, 2000.
- CRENSHAW, T. D.; PEO JR., E. R.; LEWIS, B. D. Influence of age, sex and calcium and phosphorus levels on the mechanical properties of various bones in swine. **Journal of Animal Science**, v. 52, n. 6, p. 1319-1329, 1981.
- CURREY, J. D. What determines the bending strength of a compact bone? **The Journal of Experimental Biology**, v. 202, n. 18, p. 2495-2903, 1999.
- CURREY, J. D. The many adaptations of bone. **Journal of Biomechanics**, v. 36, n. 10, p. 1427-1495, 2003.
- DOWLING, N. E. **Mechanical behavior of materials**. 2nd ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2007.

- EMMERSON, D. A.; ANTHONY, N. B.; NESTOR, K. E. Genetic association of selection for increased leg muscle and increased shank diameter with body composition and walking ability. **Poultry Science**, v. 70, n. 4, p. 739-745, 1991.
- FLOCK, D. K.; LAUGHLIN, K. F.; BENTLEY, J. Minimizing losses in poultry breeding and production: How breeding companies contribute to poultry welfare. **World's Poultry Science Journal**, v. 61, n. 2, p. 227-237, 2005.
- HAVENSTEIN, G. B.; FERKET, P. R.; QUERESHI, M. A. Growth, livability, and feed conversion of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. **Poultry Science**, v. 82, n. 10, p. 1500-1508, 2003a.
- HAVENSTEIN, G. B.; FERKET, P. R.; QUERESHI, M. A. Carcass composition and yield of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. **Poultry Science**, v. 82, n. 10, p. 1509-1518, 2003b.
- KESTIN, S. C.; KNOWLES, T. G.; TINCH, A. E. Prevalence of leg weakness in broiler chickens and its relationship with genotype. **The Veterinary Record**, v. 131, n. 9, p. 190-194, 1992.
- LETERRIER, C.; NYS, Y. Composition, cortical structure and mechanical properties of chicken tibiotarsi: effect of growth rate. **British Poultry Science**, v. 33, n. 5, p. 925-939, 1992.
- LETERRIER, C.; ROSE, N.; CONSTANTIN, P. Reducing growth rate of broiler chickens with a low energy diet does not improve cortical bone quality. **British Poultry Science**, v. 39, n. 1, p. 24-30, 1998.
- LILBURN, M. S. Skeletal growth of commercial poultry species. **Poultry Science**, v. 73, n. 6, p. 897-903, 1994.
- NESTOR, K. E.; BACON, W. L.; SAIF, Y. M. The influence of genetic increases in shank width on body weight, walking ability and reproduction of turkeys. **Poultry Science**, v. 64, n. 12, p. 2248-2255, 1985.
- RATH, N. C.; BALOG, J. M.; HUFF, G. R. Comparative differences in the composition and biomechanical properties of tibia of seven- and seventy-two-week-old male and female broiler breeder chickens. **Poultry Science**, v. 78, n. 8, p. 1232-1239, 1999.
- ROSE, N.; CONSTANTIN, P.; LETERRIER, C. Sex differences in bone growth of broiler chickens. **Growth, Development and Aging**, v. 60, n. 2, p. 49-59, 1996.
- SAEG-Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas. **Versão 8.0**. Viçosa: UFV, 2000.
- TURNER, C. H.; BURR, D. B. Basic biomechanical measurements of bone: a tutorial. **Bone**, v. 14, n. 4, p. 595-608, 1993.
- WILLIAMS, B.; SOLOMON, S.; WADDINGTON, D. Skeletal development in the meat type chicken. **British Poultry Science**, v. 41, n. 2, p. 141-149, 2000.
- WILLIAMS, B.; WADDINGTON, D.; MURRAY, D. H. Bone strength during growth: influence of growth rate on cortical porosity and mineralization. **Calcified Tissue International**, v. 74, n. 3, p. 236-245, 2004.
- YALÇIN, S.; ÖZKAN, S.; COSKUNER, E. Effects of strain, maternal age and sex on morphological characteristics and composition of tibial bone in broilers. **British Poultry Science**, v. 42, n. 2, p. 184-190, 2001.
- YALÇIN, S.; SETTAR, P.; DICLE, O. Influence of dietary protein and sex on walking ability and bone parameters of broilers. **British Poultry Science**, v. 39, n. 2, p. 251-256, 1998.

Received on August 28, 2009.

Accepted on October 4, 2010.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.