








Comparação da densimetria óssea radiográfica do rádio de cães com escalímetros de alumínio 6063 e 6351

Comparison of radiographic bone density measurements of the radius in dogs using 6063 and 6351 aluminum scales

Thiago André Carreo Costa*¹ , Isadora Gomes Nogueira¹ , Emmanuel Arnhold² , Cássio Aparecido Pereira Fontana¹ , Valcinir Aloísio Scalla Vulcani¹ 

¹ Universidade Federal de Jataí (UFJ), Jataí, Goiás, Brasil

² Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, Goiás, Brasil

*autor correspondente: thiagocarreo@ufj.edu.br

Resumo: A mensuração da densimetria mineral óssea (DMO) trata-se de um método de análise para auxiliar a identificação de alterações do tecido ósseo, como a osteoporose. Assim, o presente estudo tem como objetivo avaliar o índice de correlação entre a densimetria óssea radiográfica a partir da utilização de escalímetros de alumínio 6063 e 6351 ABNT. Dessa forma, a quantificação da matéria mineral óssea neste trabalho foi realizada com cinco radiografias simples digitais de cinco ossos secos (rádios) de cães hígidos, adultos, machos e fêmeas, juntamente com as escalas de referência em alumínio. Estas radiografias foram digitalizadas e analisadas através do programa ImageJ versão 1.54f, no qual compara tonalidades de cinza da epífise ultra distal do rádio com a intensidade de pixel da escala, tendo valores expressos em milímetros de alumínio (mmAl). O estudo demonstrou que à medida que a espessura da peça anatômica aumentava, a densidade e absorção da radiação também aumentavam. Observou-se correlação perfeita ($r = 0,9999$ com $p < 0,01$) entre os valores dos dois escalímetros, o que torna possível a utilização da liga de alumínio 6351 e 6063 como referenciais densitométricos para a determinação da densidade mineral óssea radiográfica (DMOR).

Palavras-chave: cães; densidade mineral óssea; radiologia

Abstract: The measurement of bone mineral densitometry is an analytical method used to aid in the identification of bone tissue alterations, such as osteoporosis. Thus, the present study aims to evaluate the correlation index between radiographic bone densitometry using aluminum step wedges 6063 and 6351 ABNT. In this manner, the quantification of bone mineral content in this study was performed with five simple digital radiographs of five dry bones (radii) from healthy adult male and female dogs, along with the aluminum reference scales. These radiographs were digitized and analyzed using ImageJ software version 1.54f, which compares the grayscale shades of the ultra-distal epiphysis of the radius with the pixel intensity of the step wedges, with values expressed in millimeters of aluminum (mmAl). The study demonstrated that as the thickness of the anatomical piece increased, the density and absorption of radiation also increased. A perfect correlation ($r = 0.9999$ with $p < 0.01$) was observed between the values of the two step wedges, making it feasible to use aluminum alloys 6351 and 6063 as densitometric references for the determination of radiographic bone mineral density.

Key-words: dogs; bone mineral density; radiology

Recebido: 21 de fevereiro, 2024. Aceito: 17 de junho, 2024. Publicado: 04 de outubro, 2024.

1. Introdução

O exame radiográfico é comumente utilizado no diagnóstico de diversas afecções, o que possibilita o médico veterinário obter informações importantes de forma ágil, pouco invasiva e de baixo custo ⁽¹⁾. No entanto, a avaliação da perda do tecido ósseo por meio do exame radiográfico simples só é possível ser observada quando há perda superior a 30% da matéria mineral óssea. Assim, a mensuração da densidade mineral óssea (DMO), definido como a razão entre a massa e a área do osso, assume fundamental papel na avaliação do processo de mineralização óssea, haja vista que o tecido ósseo proporciona suporte para os músculos esqueléticos, protege partes moles e órgãos vitais e, além disso, acomoda a medula óssea ⁽²⁾.

Nesse contexto, diante do aumento da longevidade dos animais de companhia, torna-se fundamental adotar técnicas que possibilitem a detecção precoce de doenças relacionadas ao tecido ósseo, como a osteoporose, no qual em decorrência de desnutrição proteica e do avanço da idade, observa-se baixa produção de tecido osteóide, o que resulta em uma diminuição generalizada do tecido ósseo ⁽³⁾. Dessa forma, a mensuração quantitativa da DMO destaca-se como o método mais empregado no diagnóstico da osteoporose, uma vez que é capaz de identificar a ocorrência de desmineralização óssea ⁽⁴⁾.

Diferentes técnicas têm sido utilizadas para mensurar a DMO, como a ultrassonografia ⁽⁵⁾, a tomografia computadorizada quantitativa (*Quantitative computed tomography* – QCT), a absorção de fótons monoenergéticos (*Single Photon Absorptiometry* – SPA) ou de duas energias (*Dual Photon Absorptiometry* – DPA) ⁽⁶⁾ e a análise de ativação por nêutrons ⁽⁷⁾, porém, o padrão ouro para medições quantitativas da DMO é a absorção radiográfica de dupla energia (DXA), uma vez que tais métodos contam com a desvantagem do longo tempo de exame, sendo necessário manter o animal imóvel para ser examinado, além da exposição à radiação por tempo prolongado ⁽⁸⁾.

Apesar da mensuração quantitativa da DMO ter um papel importante como ferramenta diagnóstica do tecido ósseo animal, o custo relativamente elevado dos equipamentos não permite que este método seja utilizado com frequência na rotina clínica ⁽⁷⁾. No entanto, é sabido que a técnica de densiometria óptica em imagens radiográficas permite uma análise precisa, de fácil execução e menor custo ⁽⁹⁾.

Em virtude do exposto, como todos os estudos até o presente utilizaram escalímetros confeccionados com liga de alumínio 6063, a fim de encontrar alternativas ao uso da liga anteriormente mencionada, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o índice de correlação entre a densiometria óssea radiográfica a partir da utilização de escalímetros de alumínio 6063 e 6351 ABNT.

2. Material e métodos

O experimento foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da UFJ sob protocolo número nº MB 002/2023, sendo conduzido de acordo com as normas éticas em vigor.

Foram utilizados cinco ossos secos (rádios) obtidos de cães adultos, machos e fêmeas, sem histórico de doença metabólica ou enfermidade musculoesquelética provenientes do setor de anatomia veterinária da Universidade Federal de Jataí – GO. Foram produzidas cinco imagens radiográficas digitais de cada um dos ossos em projeção craniocaudal, momento no qual foram colocados dois escalímetros próximos, mas não em contato com os ossos. Um dos escalímetros foi confeccionado em liga específica de alumínio 6063 ABNT, formada por 97,90% de alumínio, 0,90% de magnésio, 0,35% de ferro, 0,1% de cobre, 0,60% de silício, 0,15% de outros elementos químicos e com densidade de 2,71 g/cm³.

O segundo escalímetro foi confeccionado em liga específica de alumínio 6351 ABNT, formada por 97,45% de alumínio, 0,80% de magnésio, 0,50% de ferro, 0,1% de cobre, 1,30% de silício, 0,15% de outros elementos químicos e com densidade de 2,71 g/cm³. Ambos os escalímetros mediam 12 x 55 mm, e continham onze degraus, com 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0 e 9,0 mm de altura (Figura 1).

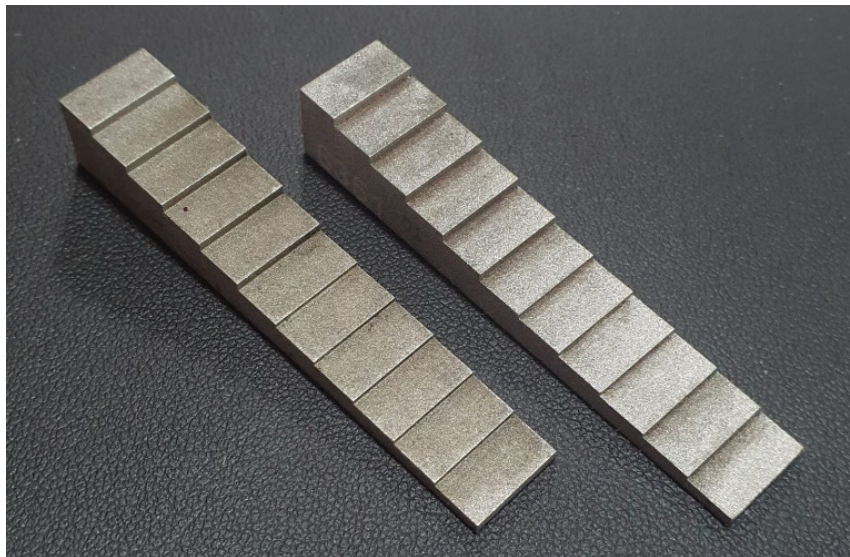


Figura 1. Escalímetros de alumínio utilizados para determinação da densitometria radiográfica de ossos secos (rádios) obtidos de cães adultos, machos e fêmeas, sem histórico de doença metabólica ou enfermidade musculoesquelética provenientes do setor de anatomia veterinária da Universidade Federal de Jataí – GO.

Para a obtenção de imagens radiográficas foi utilizado um aparelho de Raios X modelo Diafix com capacidade de 500 miliamperagem por segundo (mAs) e a 125 quilovolts (KV), casete com placa de fósforo Regius Cassete RC 300, leitora Regius Sigma e programa de computador para digitalização das imagens radiográficas ImagePilot versão 1.70. Em todos os exames foi utilizada técnica de exposição de 40 KV, 30 mAs e distância foco-filme de 95 cm.

Utilizando o software RadiAnt DICOM Viewer (<https://www.radiantviewer.com>) e, com auxílio da ferramenta de histograma do programa ImageJ versão 1.54f, utilizando processamento de imagem de 8 bits (256 tons de cinza), foram determinadas as intensidades dos pixels (IP) de cada um dos onze degraus dos escalímetros, bem como das regiões ultra dis tais de cada peça anatômica (Figura 2). Ato contínuo foram determinadas as médias dos valores de intensidade dos pixels de todas as regiões analisadas (ossos e degraus dos escalímetros).

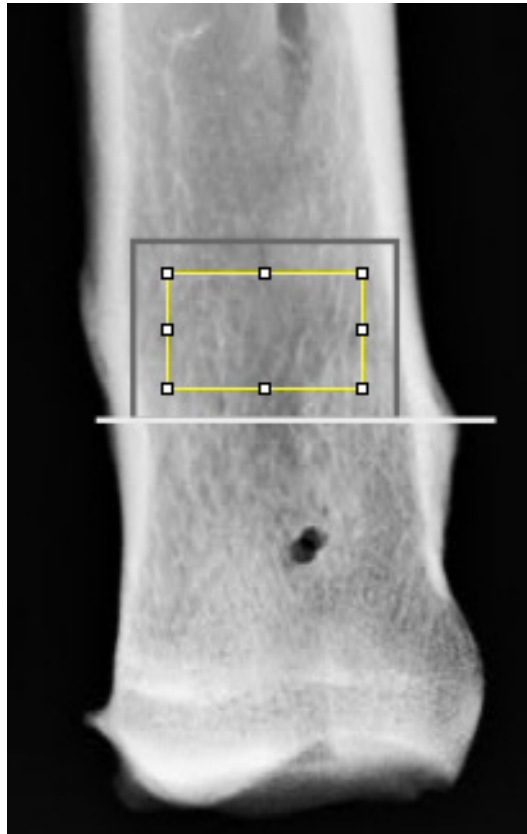


Figura 2. Radiografia da região óssea selecionada da epífise ultra distal do rádio de cão em projeção craniocaudal.

Para avaliar a correlação entre os resultados de IP obtidas a partir dos escalímetros de alumínio 6063 e 6351 foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson e considerou-se $r = 0$, sem correlação; $0 < r \leq 0,2$, correlação muito pobre; $0,2 < r \leq 0,4$, correlação pobre; $0,4 < r \leq 0,6$, correlação moderada; $0,6 < r \leq 0,8$, correlação boa; $0,8 < r < 1$, correlação muito boa; e $r = 1$, correlação perfeita ⁽¹¹⁾. Para determinar a densidade mineral óssea radiográfica (DMOR), foram obtidas equações quadráticas e, a partir daí, calculou-se a equivalência da intensidade de pixel das regiões ultra distais dos rádios com intensidade de pixel dos degraus dos escalímetros de alumínio 6063 e 6351 o que permitiu que os resultados das intensidades de pixels das regiões ultra distais fossem expressos em mmAl6063 e mmAl6351. Para comparação entre os resultados da equivalência em mmAl 6063 e mm6351 das regiões de interesse das peças anatômicas foi utilizado o teste de análise de variância seguido pelo teste de Tukey. As análises para obtenção das equações quadráticas, dos coeficientes de correlação e dos testes estatísticos foi utilizado o software R (R Core Team, 2023).

3. Resultados e discussão

Em todas as cinco radiografias foram utilizados os mesmos escalímetros de alumínio (6063 e 6351 ABNT), ambos com 11 degraus com alturas e espessuras variadas. Verificou-se que enquanto a altura dos degraus aumentava também aumentava o valor das médias das tonalidades de cinza, tal fenômeno pode ser observado a partir dos resultados apresentados na Tabela 1. Estes resultados corroboram com dados obtidos por outros autores ⁽¹⁰⁾.

Tabela 1. Resultados da média de intensidade de pixel dos degraus dos escalímetros de alumínio 6063 e 6351 ABNT

Degraus		Média de intensidade de pixel Escalímetro ALUMINIO 6063	Média de intensidade de pixel Escalímetro ALUMINIO 6351
Sequência	Altura (mm)		
Degrau 1	1.5	56.29	51.27
Degrau 2	2.0	70.26	66.58
Degrau 3	2.5	89.05	85.42
Degrau 4	3.0	109.49	106.14
Degrau 5	3.5	131.00	128.03
Degrau 6	4.0	150.52	148.48
Degrau 7	5.0	181.39	182.16
Degrau 8	6.0	201.97	203.89
Degrau 9	7.0	216.75	218.91
Degrau 10	8.0	228.48	230.24
Degrau 11	9.0	237.94	239.47

Por se tratar de um método comumente utilizado para medir a repetibilidade em medições ósseas, utilizou-se no presente experimento o coeficiente de variação para análise estatística dos resultados ^(11,12).

A técnica utilizada para a determinação da DMOR neste estudo foi baseada na radiação X, produzindo uma imagem bidimensional de uma estrutura tridimensional, que se forma a partir da absorção da radiação pelo tecido analisado. Desse modo, pôde-se observar que, quanto maior a densidade e espessura da peça anatômica analisada, maior foi a absorção da radiação, fazendo com que a quantidade de Raios X recebida em cada pixel do sensor do aparelho formasse um tom de cinza equivalente à atenuação ocorrida ⁽¹³⁾. É conhecido que em situações clínicas, a técnica de DMOR não considera a atenuação que os tecidos moles imprimem ao resultado do exame. Entretanto, como foram utilizados ossos secos neste experimento, não houve qualquer interferência dos tecidos moles nos resultados.

Sabe-se que o exame de densitometria óptica em imagem radiográfica utilizando como referencial o escalímetro de alumínio é menos preciso em determinar a densidade mineral óssea do que o exame padrão ouro (absortometria de Raios X de dupla energia - DEXA), entretanto, já foi demonstrado que ele pode ser uma boa alternativa, mesmo que, eventualmente, sendo utilizado como exame de triagem, principalmente pelo fato de demandar menos investimentos e, normalmente, ser de custo menor para o paciente ⁽¹⁴⁾.

Quanto aos resultados da intensidade de pixels obtidos a partir da utilização dos dois escalímetros utilizados neste experimento confeccionados com alumínio 6063 ABNT e alumínio 6351 ABNT, respectivamente (Figura 4), apesar da maioria dos autores sempre citarem o alumínio 6063 como sendo o padrão para a técnica de DMOR ^(7,15,16), a correlação entre os valores observados mostrou haver correlação perfeita ($r= 0.9999$ com $p < 0.01$) entre os dois escalímetros, fato que mostra ser possível determinar a DMOR com uma liga de alumínio diferente da 6063 ABNT. Tal resultado pode ampliar as possibilidades para a determinação da DMOR sem comprometer os resultados.

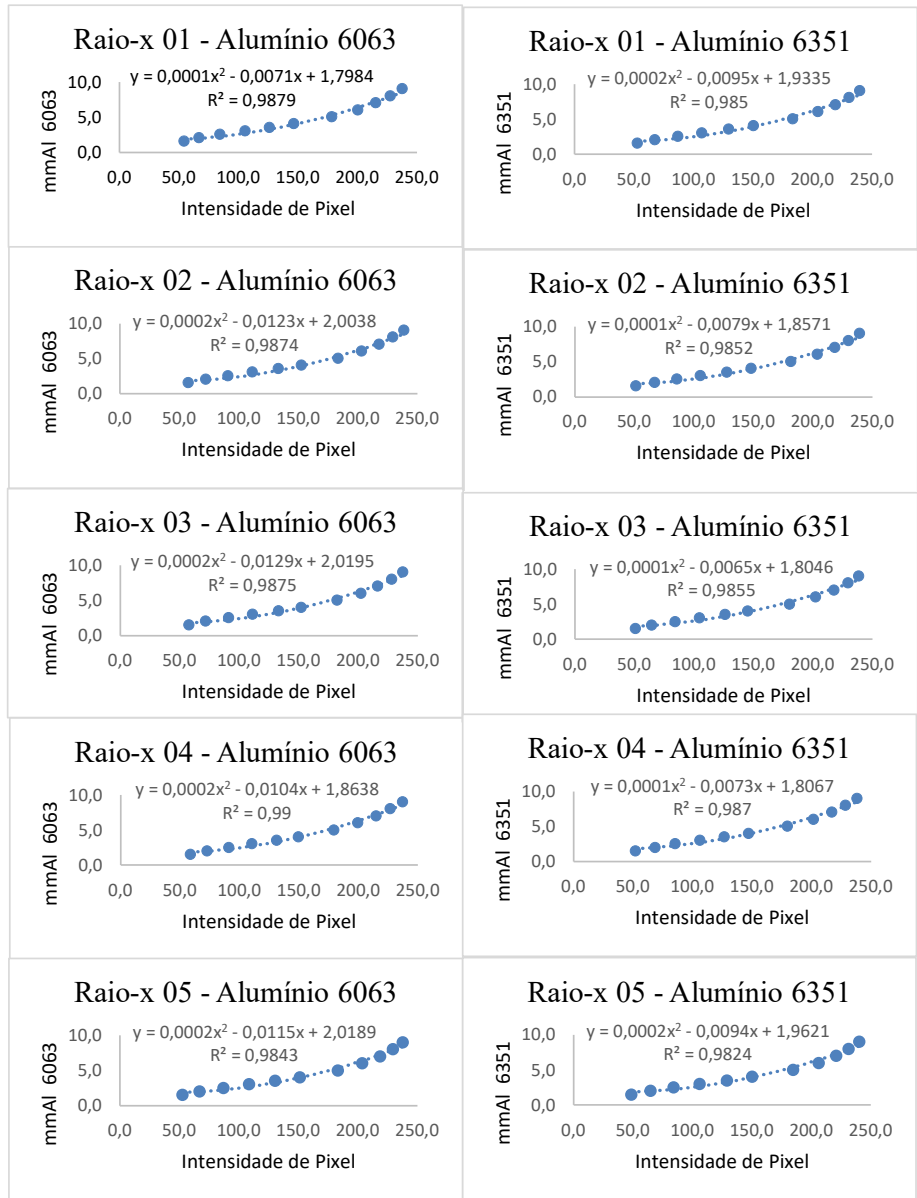


Figura 4. Resultados da intensidade de pixels dos degraus de escalas de alumínio 6063 ABNT e 6351 ABNT, aferidos em cinco radiografias simples digitais

Quanto aos resultados de DMOR em alumínio equivalente das regiões ultra distais dos raios (Tabelas 2 e 3) estes foram obtidos a partir de equações quadráticas ⁽¹⁷⁾, fato que permitiu calcular a equivalência da intensidade de pixel de cada região expressos em mmAl6063 e mmAl6351.

Tabela 2. Valores da densidade de pixels de exames radiográficos digitais das extremidades ultra distais de raios de cães expressos em milímetros de alumínio 6063 (mmAl) a partir da aplicação de regressão linear quadrática

	Escalímetro Alumínio 6063				
	RaioX 1	RaioX 2	RaioX 3	RaioX 4	RaioX 5
Osso A	5,070 mmAl	5,026 mmAl	2,694 mmAl	5,190 mmAl	5,107 mmAl
Osso B	4,593 mmAl	3,748 mmAl	3,807 mmAl	3,980 mmAl	3,896 mmAl

Osso C	4,226 mmAl	4,008 mmAl	4,046 mmAl	4,204 mmAl	4,161 mmAl
Osso D	3,966 mmAl	3,755 mmAl	3,697 mmAl	3,867 mmAl	3,807 mmAl
Osso E	3,025 mmAl	2,698 mmAl	2,661 mmAl	2,692 mmAl	2,628 mmAl

Tabela 3. Valores da densidade de pixels de exames radiográficos digitais das extremidades ultra distais de raios de cães expressos em milímetros de alumínio 6351 (mmAl) a partir da aplicação de regressão linear quadrática

	Escalímetro Alumínio 6351				
	RaioX 1	RaioX 2	RaioX 3	RaioX 4	RaioX 5
Osso A	4,902 mmAl	5,110 mmAl	2,875 mmAl	5,215 mmAl	5,073 mmAl
Osso B	4,438 mmAl	3,871 mmAl	3,983 mmAl	4,054 mmAl	3,907 mmAl
Osso C	4,082 mmAl	4,125 mmAl	4,215 mmAl	4,270 mmAl	4,163 mmAl
Osso D	3,830 mmAl	3,878 mmAl	3,876 mmAl	3,944 mmAl	3,821 mmAl
Osso E	2,929 mmAl	2,825 mmAl	2,841 mmAl	2,795 mmAl	2,670 mmAl

A partir dos resultados obtidos em mmAl (6063 e 6351), aplicou-se teste de análise de variância, seguido por teste de Tukey e constatou-se que não houve diferença estatística entre os resultados dos diferentes ossos obtidos em cada uma das cinco radiografias. Tal achado corrobora com resultados de outros autores ^(18,19,20,21), mostrando que a técnica de DMOR possui sensibilidade e acurácia suficientes para ser utilizada na determinação da densidade mineral óssea.

4. Conclusão

A partir dos resultados obtidos e dentro do contexto não clínico que o trabalho foi conduzido, observou-se que há possibilidade de utilizar a liga de alumínio 6351 para a determinação da densidade óssea, sendo uma alternativa viável como referencial densiométrico em substituição à liga de alumínio 6063. Finalmente, deve-se considerar que os métodos aplicados neste artigo devem passar por testes clínicos para que se possa, após isso, eventualmente, permitir aplicabilidade futura da liga de alumínio 6351.

Declaração de conflito de interesse

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Contribuições do autor

Conceituação: T. A. C. Costa; Administração do projeto: T. A. C. Costa; Validação: E. Arnhold e V. A. S. Vulcani; Metodologia: C. A. P. Fontana; Redação (rascunho original): I. G. Nogueira; Redação (revisão e edição): T. A. C. Costa.

Referências

- Haidekker MA, Stevens HY, Frangos, JA. Computerized methods for X-ray-based small bone densitometry. *Comput Methods and Programs in Biomedicine* [periódico na Internet]. 2004 [citado 2023 Out 19]; 73:35-42. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0169-2607\(02\)00164-5](https://doi.org/10.1016/S0169-2607(02)00164-5)
- Garton, MJ et al. Can radiologists detect osteopenia on plain radiographs? *Clinical radiology* [periódico na Internet]. 1994 [citado 2023 Nov 9]; 49:118-122. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0009-9260\(05\)83453-1](https://doi.org/10.1016/S0009-9260(05)83453-1)
- Yates AJ, Ross PD, Lydick E, Epstein RS. Radiographic absorptiometry in the diagnosis of osteoporosis. *The*

American Journal of medicine [periódico na Internet]. 1995 [citado 2023 Nov 9]; 98:41S-7S. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0002-9343\(05\)80045-2](https://doi.org/10.1016/S0002-9343(05)80045-2)

4. Wilkie JR, Giger ML, Chinander MR. Investigation of physical image quality indices of a bone densitometry system. Medical Physics [periódico na Internet]. 2004 [citado 2023 Nov 9]; 31:873-881. Disponível em: <https://doi.org/10.1118/1.1650528>

5. Jeffcott LB, McCartney RN. Ultrasound as a tool for assessment of bone quality in the horse. The Veterinary Record [periódico na Internet]. 1985 [citado 2023 Nov 9]; 116:337-342. Disponível em: <https://doi.org/10.1136/vr.116.13.337>

6. Grier SJ, Turner AS, Alvis MR. The use of dual-energy X-ray absorptiometry in animals. Investigative Radiology [periódico na Internet]. 1996 [citado 2023 Nov 9]; 31:50-62. Disponível em: <https://doi.org/10.1097/00004424-199601000-00008>

7. Vulcano LC, Santos FAM, Godoy CLB. Determinação da densidade mineral óssea da extremidade distal do rádio-ulna em gatos: correlação entre peso, sexo e idade. Ciência Rural [periódico na Internet]. 2008 [citado 2023 Jul 19]; 38:124-128. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000100020>

8. Toll PW, Gross KL, Berryhill SA, Jewell DE. Usefulness of Dual Energy X-Ray Absorptiometry for Body Composition Measurement in Adult Dogs. The Journal of Nutrition [periódico na Internet]. 1994 [citado 2023 Nov 9]; 124:2601S-2603S. Disponível em: https://doi.org/10.1093/jn/124.suppl_12.2601S

9. Giglio RF, Sterman FA, Pinto ACBCF, Balieiro JCC, Ambrosio CE, Martins DA, Lima AR, Grando AP, Miglino MA, Zatz M, Ferrigno CRA. Estudo longitudinal da densidade mineral óssea de cães Golden Retriever hípidos, portadores e afetados pela distrofia muscular. Braz. J. vet. Res. anim. Sci [periódico na Internet]. 2009 [citado 2023 Nov 26]; 46:347-354. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.1678-4456.bjvras.2009.26783>

10. Blake GM, Fogelman I. An update on dual-energy x-ray absorptiometry. Seminars in Nuclear Medicine [periódico na Internet]. 2010 [citado 2023 Nov 24]; 40:62-73. Disponível em: <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2009.08.001>

11. El Maghraoui A, Roux C. DXA scanning in clinical practice. QJM: An International Journal of Medicine [periódico na Internet]. 2008 [citado 2023 Nov 24]; 101:605-617. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/qjmed/hcn022>

12. Dendere R, Whiley SP, Douglas TS. Computed digital absorptiometry for measurement of phalangeal bone mineral mass on a slot-scanning digital radiography system. Osteoporosis Internacional [periódico na Internet]. 2014 [citado 2023 Nov 24]; 25:2625-2630. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00198-014-2792-4>

13. Cook WD. An investigation of the radiopacity of composite restorative materials. Australian Dental Journal [periódico na Internet]. 1981 [citado 2023 Nov 24]; 26:105-112. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.1981.tb02443.x>

14. K Lucas, Nolte I, Galindo-Zamora V, Lerch M, Stukenborg-Colsman C, Behrens BA, Bouguecha A, Betancur S, Almohallami A, Wefstaedt P. Comparative measurements of bone mineral density and bone contrast values in canine femora using dual-energy X-ray absorptiometry and conventional digital radiography. BMC Veterinary Research [periódico na Internet]. 2017 [citado 2023 Nov 27]; 13:130-139. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12917-017-1047-y>

15. Oliveira MT. Um algoritmo de seleção polinomial para mensuração de densidade radiográfica [Tese de Doutorado na Internet]. Universidade Fernando Pessoa; 2018 [citado 2023 Nov 24]. 223 s: https://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/7118/1/TD_M%C3%A1rcio%20Oliveira.pdf

16. Amoroso LI, Baraldi ASM, Barreiro FR, Pacheco MR, Alva JCR, Soares NM, Pacheco LG, Melaré MC. Bone densitometry and calcium serum levels in chickens treated with filtered or unfiltered water. Brazilian Journal of Poultry Science [periódico na Internet]. 2013 [citado 2023 Nov 27]; 15:379-384. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2013000400013>

17. Robertson G, Wallace R, Simpson AHRW, Dawson SP. Preoperative measures of bone mineral density from digital wrist radiographs. Bone & Joint Research [periódico na Internet]. 2021 [citado 2023 Nov 9]; 10:830-839. Disponível em: <https://doi.org/10.1302%2F2046-3758.1012.BJR-2021-0098.R1>

18. Robertson G, Wallace R, Simpson AHRW, Dawson SP. Preoperative measures of bone mineral density

from digital wrist radiographs. PubMed Central [periódico na Internet]. 2021 [citado 2023 Nov 24]; 10:830-839. Disponível em: <https://doi.org/10.1302%2F2046-3758.1012.BJR-2021-0098.R1>

19. Rahal SC, Mortari AC, Caporali EHG, Vulcano LC, Santos FAM, Takahira RK, Crocci AJ. Densitometria óptica radiográfica na avaliação do hiperparatireoidismo secundário nutricional induzido em gatos jovens. *Ciência Rural* [periódico na Internet]. 2002 [citado 2023 Nov 25]; 32:421-425. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782002000300009>

20. Serman FA. Avaliação da densidade mineral óssea em equinos atletas destinados ao enduro equestre pelo método de densitometria óptica radiográfica [Tese (Livre Docência) periódico na Internet]. Universidade de São Paulo; 2002 [citado 2023 Nov 24]. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001308618>

21. Yang SO, Hagiwara S, Engelke K, Dhillon MS, Guglielmi G, Bendavid EJ, Soejima O, Nelson DL, Genant HK. Radiographic absorptiometry for bone mineral measurement of the phalanges: precision and accuracy study. *Radiology* [periódico na Internet]. 1994 [cited 2023 Nov 24];192. Disponível em: <https://doi.org/10.1148/radiology.192.3.8058960>