







Desenvolvimento e avaliação de aplicativo móvel para determinação da densidade mineral em ossos secos de cães

Development and evaluation of a mobile app for bone mineral densitometry in dry canine bones

Thiago André Carreo Costa^{1*}, Adriana Castro de Jesus¹, Thiago Borges de Oliveira¹, Alexandre Redson Soares da Silva², Cássio Aparecido Pereira Fontana¹, Valcinir Aloísio Scalla Vulcani¹

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

2 Universidade Federal do Vale do São Francisco (UFVFS), Petrolina, Pernambuco, Brasil. 

*autor correspondente: thiagocarreo@ufj.edu.br

Recebido: 08 de agosto, 2024. Aceito: 18 de novembro, 2024. Publicado: 07 de fevereiro, 2025. Editor: Luiz Augusto B. Brito

Resumo: Sabe-se que, anualmente, são diagnosticadas cerca de 9 milhões de fraturas osteoporóticas no mundo e, por se tratar de uma doença considerada um problema de saúde pública, assintomática e, até certo ponto negligenciada, o diagnóstico precoce da diminuição da densidade mineral óssea ainda constitui um desafio. Neste trabalho, utilizando o coeficiente de correlação de Pearson, comparou-se os resultados da densitometria óssea radiográfica (DORX) obtidas utilizando como referencial densitométrico um penetômetro confeccionado em liga de alumínio 6063 ABNT e um aplicativo móvel especialmente desenvolvido para realizar a aferição, com resultados obtidos pela absorptometria de raios-X de dupla energia (DXA). Foram analisados ossos secos (porções ultradistais de rádios e colos femorais) de cães saudáveis. Os resultados da análise da porção ultradistal do rádio obtidos por meio do aplicativo mostraram correlação boa quando comparados com a DXA ($R=0,7$) e, para o colo femoral, correlação muito boa ($R=0,8$). Concluiu-se que a aplicação móvel analisada neste estudo pode, em um futuro próximo, se tornar uma ferramenta importante para análise densidade mineral óssea de maneira eficaz.

Palavras-chave: densitometria; inovação; aplicativo; osso.

Abstract: Annually, approximately 9 million osteoporotic fractures are diagnosed worldwide. As osteoporosis is a condition classified as a public health issue—often asymptomatic and, to some extent, neglected—early diagnosis of reduced bone mineral density remains a significant challenge. In this study, the Pearson correlation coefficient was employed to compare the results of radiographic bone densitometry (RBD) using a densitometric reference based on a penetrometer manufactured from aluminum alloy 6063 ABNT and a mobile application specifically developed to perform RBD measurements, with results obtained through dual-energy X-ray absorptiometry (DXA). The analysis was conducted on dry bones (ultradistal portions of radii and femoral necks) from healthy dogs. The results for the ultradistal portion of the radius obtained via the mobile application demonstrated good correlation with DXA ($R=0.7$), while the femoral neck showed very good correlation ($R=0.8$). It was concluded that the mobile application analyzed in this study may, in the near future, become an important tool for the effective assessment of bone mineral density.

Key-words: bone mineral densitometry; innovation; mobile apps; public health.



1. Introdução

Com aproximadamente 8,9 milhões de fraturas osteoporóticas ocorrendo anualmente, a osteoporose passou a ser um problema de saúde pública relevante em todo o mundo⁽¹⁾ e, pelo fato de se tratar de uma doença assintomática até que ocorra a fratura, tem sido considerada como uma epidemia silenciosa⁽²⁾. Ainda assim, em todo o mundo, a osteoporose tem recebido menos atenção de governos e promotores de saúde coletiva quanto comparada a outras doenças crônicas não transmissíveis^(3,4).

Desde 1987 a absorptometria de raios-X de dupla energia (dual-energy X-ray absorptiometry, ou DXA) tem sido amplamente utilizada e foi considerada o padrão ouro para a avaliação da densidade mineral óssea (DMO)⁽⁴⁻⁷⁾ e o exame pode ser feito tanto em ossos periféricos, incluindo o calcâneo, radio distal, metacarpos e falanges, como também em vértebras e colo femoral e pode prever o risco de fratura do paciente analisado^(8, 9). Mesmo sendo considerada o padrão ouro para o diagnóstico de osteoporose, um estudo conduzido pela Fundação Internacional de Osteoporose mostrou que, enquanto na Austrália, Hong Kong, Japão, Nova Zelândia e Cingapura contam com até 24 máquinas DXA por milhão de habitantes, países como a China, Índia, Indonésia, Paquistão, Filipinas, Sri Lanka e Vietnã tinham menos de uma máquina por milhão⁽¹⁰⁾. Na América Latina, os países com melhor acesso ao exame são o Brasil e Chile com 10 máquinas DXA por milhão de habitantes, enquanto outros países variaram de 0,9 a 6,7 por milhão⁽¹¹⁾.

Recentemente observou-se que apenas um em cada quatro pacientes com diagnóstico de fraturas por fragilidade recebem tratamento profilático⁽¹²⁾, fazendo com que o impacto social da osteoporose ainda represente um desafio em saúde pública. Na verdade, menos de 20% dos pacientes com uma fratura por fragilidade receberam terapia para reduzir o risco a fratura futura antes que ela ocorresse⁽¹³⁻¹⁵⁾. Um estudo apontou que em quatro países da América Latina (Argentina, Brasil, Colômbia e México), que somam cerca de 500 milhões de pessoas com osteoporose, foram diagnosticados 850.000 casos de fraturas em 2018, o que gera um impacto financeiro equivalente a mais de 1 bilhão de dólares⁽¹²⁾.

Estes dados são particularmente importantes, principalmente na América Central e América do Sul onde o acesso à densitometria é limitado ou muito caro, uma parcela significativa da população vive abaixo da linha da pobreza e as medidas profiláticas na área da saúde visando minorar os casos de osteoporose ou distúrbios musculoesqueléticos não são uma prioridade^(16, 17). Neste cenário, este trabalho avaliou o nível de precisão de um aplicativo móvel desenvolvido na Universidade Federal de Jataí (UFJ) para determinar a DMO utilizando exames radiográficos simples e um referencial densitométrico de alumínio.

2. Material e métodos

Foram utilizados ossos secos (peças anatômicas) do acervo de ossos do setor de anatomia veterinária da Universidade Federal de Jataí (UFJ), sendo cinco fêmures e seis rádios, todos de cães adultos, machos e fêmeas, sem histórico de doença metabólica ou enfermidade musculoesquelética. Para determinar a DMO de cada peça anatômica foram utilizadas duas técnicas diferentes: A. absorptometria de raios-X de dupla energia – DXA; e

B. densitometria óptica em imagem radiográfica (DORX) utilizando como referencial um penetômetro confeccionado em liga específica de alumínio 6063 ABNT⁽¹⁸⁾, formada por Al-Mg-Si⁽¹⁹⁾, sendo sua composição de 98,75% de alumínio, 0,54% de magnésio, 0,47% de silício e 0,24% outros elementos químicos, padronizada internacionalmente, medindo 10 x 55 mm, confeccionada com onze degraus, com alturas variando entre 0,5 a 9,0 mm, respectivamente, primeiro e último degrau e colocada próximo, mas não em contato com os ossos (Figura 1).



Figura 1. Exemplo da imagem radiográfica do fêmur (A), do penetômetro de alumínio 6063 ABNT com 11 degraus (B) e do rádio (C) obtida com o equipamento Lunar DPX-NT Series 76KV X-Ray Tube House Assembly da GE Medical Systems.

Para a densitometria por absorptometria de raios-X de dupla energia utilizou-se equipamento Lunar DPX-NT Series 76KV X-Ray Tube House Assembly da GE Medical Systems e definiu-se como regiões de interesse (RDI) o colo femoral e o rádio ultradistal (UD). No caso dos exames de DORX, estes foram realizados segundo a metodologia proposta por Vulcano et al. 2008⁽²⁰⁾, na mesma região anatômica dos exames de DXA, utilizando aparelho de raios-X Poskom[®] Vet 20BT e digitalizador de raio-X de 46 x 34,8, 16Bits e resolução de 3.6 pares de linha/mm (Kylumax[®] modelo KLX-1417). Para a obtenção das imagens radiográficas foi utilizada técnica de exposição de 70Kv/1,2mAs para o colo do fêmur e 65Kv/1,2mAs para o rádio UD e, em todas as radiografias, ao lado do osso analisado, foi utilizado um penetômetro de alumínio 6063 ABNT com 11 degraus como referencial densitométrico.

Após a exportação dos dados como *.jpeg, para que se pudesse determinar a DORX, os exames radiográficos foram analisados usando um aplicativo móvel (APP) produzido exclusivamente para tal finalidade. O APP foi desenvolvido no Android Studio, com suporte Java para fazer o processamento digital de imagens radiográficas digitais, utilizando a biblioteca OpenCV instalado em um dispositivo móvel com sistema operacional Android. A análise foi feita em 3 etapas: 1. Abertura do arquivo digital da imagem radiográfica no app; 2. Determinação pelo usuário (escolha manual) da RDI. Nesse momento o APP identifica automaticamente a imagem do penetômetro; 3. Obtenção da DMO da DRI pela detecção do valor médio de cinza de cada degrau e cálculo da espessura equivalente em milímetros de alumínio da mesma.

O APP é capaz de detectar variações em 256 tons de cinza, sendo o valor zero o preto absoluto e o valor 255 o branco absoluto, correspondendo às variações na densidade radiográfica. Cada

RDI, foi examinada três vezes para posterior obtenção da média para análise estatística dos resultados. Os pixels de cada degrau do penetômetro são automaticamente identificados e o software captura as médias dos valores dos pixels de cada um dos 11 degraus da escala. Logo em seguida o algoritmo obtém a média de pixels da RDI identificada pelo usuário. O valor da DMO da RDI do osso analisado é calculado por meio de regressão linear entre os valores médios dos pixels dos degraus do penetômetro e seus respectivos valores em mmAl e os valores médios dos pixels da RDI. Deste modo, o APP apresenta ao usuário um valor de DMO equivalente a mmAl.

Para avaliar a associação entre os resultados de DMO obtidos pelo APP e os resultados obtidos pelo DXA foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson entre os resultados obtidos pelos dois métodos 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^(21, 22). As análises para obtenção das equações e dos coeficientes de correlação foram feitas no Microsoft Excel® 2019.

3. Resultados

Embora os exames tenham sido realizados em peças anatômicas, tanto para a DXA quanto para a DORX, foi possível determinar a densidade mineral óssea (DMO) de todos os ossos analisados sem dificuldades. Os resultados obtidos por meio dos exames de DXA e DORX estão apresentados na Tabela 1 (valor absoluto e valor médio \pm desvio padrão [SD]).

Tabela 1. Valores da DMO do colo femoral e rádio UD de cães obtidos por meio de absorptometria de raios-X de dupla energia (DXA) em g/cm² e valores das três repetições e médias \pm desvio padrão (em mmAl) dos exames radiográficos simples com um referencial densitométrico de alumínio.

	Resultado 1 APP (mmAl)	Resultado 2 APP (mmAl)	Resultado 3 APP (mmAl)	Média \pm DP (mmAl)	Resultado DEXA (g/cm ²)
Colo do Fêmur (1)	4,01	4,00	4,00	4,00 \pm 0,006	0,715
Colo do Fêmur (2)	3,92	3,91	3,91	3,91 \pm 0,006	0,680
Colo do Fêmur (3)	4,51	4,49	4,49	4,50 \pm 0,012	0,718
Colo do Fêmur (4)	4,71	4,71	4,72	4,71 \pm 0,006	0,866
Colo do Fêmur (5)	4,16	4,15	4,17	4,16 \pm 0,010	0,648
Rádio Ultradistal (1)	3,06	3,06	3,05	3,06 \pm 0,006	0,567
Rádio Ultradistal (2)	3,49	3,52	3,50	3,50 \pm 0,015	0,647
Rádio Ultradistal (3)	3,34	3,32	3,33	3,33 \pm 0,010	0,552
Rádio Ultradistal (4)	3,31	3,30	3,30	3,30 \pm 0,006	0,586
Rádio Ultradistal (5)	2,94	2,95	2,95	2,95 \pm 0,006	0,513
Rádio Ultradistal (6)	2,85	2,85	2,87	2,86 \pm 0,012	0,576

A partir da obtenção dos valores densitométricos dos ossos, foi possível determinar as equações de correlação entre os dois métodos utilizados. Para os resultados obtidos a partir do colo do fêmur, foi gerada a equação $y = 7,2756x^2 - 7,9832x + 6,1792$, com coeficiente de determinação de $R^2=0,618$ e, para a análise dos resultados obtidos a partir do rádio UD, foi gerada a equação $y = 20,135x^2 - 19,722x + 7,8214$, com coeficiente de determinação de

$R^2=0,458$ (Figura 2). Ato contínuo foi calculado o coeficiente de correlação ($R= 0,8$ para o colo do fêmur e $R=0,7$ para o rádio UD).

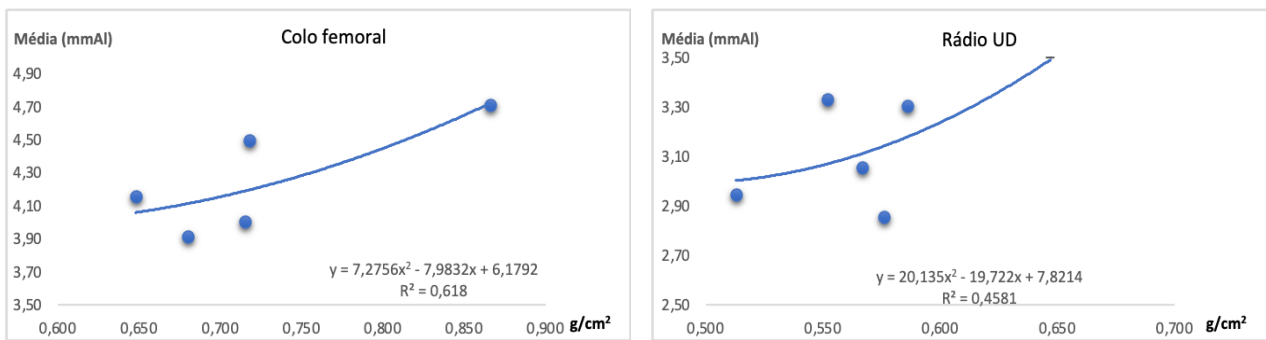


Figura 2. Valores da densitometria óssea obtidos (expressos em mmAl) obtidos a partir de aplicativo móvel, por meio da densitometria óptica em imagem radiográfica utilizando como referencial um penetômetro confeccionado em liga específica de alumínio 6063 ABNT e a partir de absortometria de raios-X de dupla energia (expresso em g/cm^2) de ossos secos de cães provenientes do setor de anatomia veterinária da UFJ-GO. Em A. Colo femoral; e em B. Rádio ultradistal – UD.

4. Discussão

Sabe-se que a osteoporose e as complicações das fraturas por fragilidade estão associadas ao aumento da mortalidade⁽²³⁾. No presente estudo foram utilizadas duas RDIs diferentes, o colo do fêmur, preconizado pela Organização mundial de Saúde como DRI para o diagnóstico da osteoporose⁽²⁴⁾, e o rádio pois, caso o quadril e/ou a coluna lombar não puderem ser avaliados, ossos periféricos também podem ser analisados para o diagnóstico da osteoporose por meio da densitometria^(8, 25).

Este experimento pode ser considerado relevante pois, com o avanço da tecnologia, os equipamentos e ferramentas diagnósticas com software embarcado tem ganhado atenção, e muitas técnicas têm sido desenvolvidas para prever vários distúrbios patológicos, inclusive com a aplicação de algoritmos de processamento de imagem para o diagnóstico médico. Assim como o APP desenvolvido para esta avaliação, os sistemas têm mostrado melhor precisão, maior eficiência e menor custo para o diagnóstico de osteoporose. Neste contexto, optou-se pelo exame radiográfico simples para detectar a osteoporose^(26, 27).

Ambas as modalidades de exames utilizadas para a determinação da DMO no presente estudo são baseadas na radiação X, produzindo uma imagem bidimensional de uma estrutura tridimensional, que se forma a partir da absorção da radiação pelo tecido analisado. Pôde-se observar que, quanto maior a densidade e espessura do tecido, maior é a absorção da radiação, fazendo com que a quantidade de raios X recebida em cada pixel do sensor do aparelho forme um tom de cinza equivalente à atenuação ocorrida⁽²¹⁾. Apesar da DORX não levar em consideração a atenuação do tecido mole no exame enquanto a DXA o faz, o que pode fazer desta mais vantajosa⁽²⁸⁾, neste experimento foram utilizados ossos, o que elimina a possibilidade da técnica de DXA obter vantagem sobre a DORX.

Nas 11 radiografias utilizou-se o mesmo penetômetro de alumínio com 11 degraus, de alturas variadas (diferentes espessuras) e feito de liga 6063 ABNT, no qual verificou-se que, a espessura é diretamente proporcional às tonalidades de cinza, indo de acordo⁽²⁹⁾.

Corroborando com outros autores, 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 ^(30, 31).

No exame de densitometria óptica em imagem radiográfica, utilizando como referencial o penetômetro de alumínio, mesmo sendo menos preciso em determinar a DMO quando comparado ao DXA, foi demonstrado que pode ser uma opção que pode servir de alternativa, mesmo que eventualmente utilizado como exame de triagem, principalmente pelo fato de demandar menos investimentos e, normalmente, ser de custo menor para o paciente ⁽²⁸⁾. A DXA foi utilizada como referência no eixo X por se tratar da técnica ser referência (Figura 2) e, nos dois ossos analisados, observou-se correlação positiva progressiva e positiva. O grupo com amostras de colo femoral apresentou menor dispersão, observado pelo maior coeficiente de correlação entre as amostras deste grupo em relação às amostras de rádio UD (colo femoral $R=0,8$ e rádio UD $R=0,7$).

Neste experimento, conforme observado em outros estudos⁽³²⁻³⁴⁾, o coeficiente de correlação foi considerado bom para o exame do colo do fêmur e moderado para o rádio UD, sugerindo boa precisão nas análises das peças anatômicas utilizadas⁽³⁵⁾ e assegurando a relativa confiabilidade deste método^(36, 37). Finalmente, deve-se considerar que o método utilizado neste artigo ainda passará por testes que permitam aplicação em rotina clínica, limitando a evidências de previsão de aplicabilidade fratura ⁽²⁷⁾, além disso, o coeficiente de correlação pode não ter sido maior por conta da dificuldade do usuário que opera o software em delimitar exatamente a mesma RDI para os exames realizados nas diferentes técnicas aplicadas ⁽³⁸⁾.

5. Conclusão

O coeficiente de correlação muito bom para o exame do colo do fêmur ($R=0,8$) e bom para o rádio UD ($R=0,7$), indicam que o uso do aplicativo móvel desenvolvido para quantificar a densidade mineral óssea pode ser uma opção para permitir a popularização e maior acessibilidade ao exame de densitometria óssea na avaliação clínica para osteoporose. São necessários estudos futuros utilizando tanto um número amostral maior quanto exames realizados em animais vivos para que se possa analisar de maneira mais robusta a precisão, a sensibilidade e a especificidade do aplicativo.

Declaração de conflito de interesse

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Declaração de disponibilidade de dados

Os dados completos do experimento estarão disponíveis mediante solicitação ao autor. Apesar da aplicação móvel atualmente não estar disponível para download nas lojas de aplicativos, esta ficará disponível para pesquisadores interessados mediante solicitação ao autor responsável, bem como a autorização para sua utilização.

Contribuições do autor

Conceituação T. A. C. Costa. Curadoria de dados: T. A. C. Costa e A. C. de Jesus. Análise formal: T. A. C. Costa, V. A. S. Vulcani e A. C. de Jesus. Investigação: A. C. de Jesus. Gerenciamento do projeto: T. A. C. Costa. Software: T. B. de Oliveira. Recursos: C. A. P. Fontana. Supervisão: V. A. S. Vulcani. Validação: T. A. C. Costa. Redação (esboço original): A. C. de Jesus. Redação (revisão & edição): T. A. C. Costa, A. R. S. da Silva e V. A. S. Vulcani.

Referências

1. Johnell O, Kanis JA. An estimate of the worldwide prevalence and disability associated with osteoporotic fractures. *Osteoporos Int.* 2006 Dec;17(12):1726-33. <https://doi.org/10.1007/s00198-006-0172-4>
2. Hamdy RC. Osteoporosis, the deafening silent epidemic. *South Med J.* 2002 Jun;95(6):567-8. doi: <https://doi.org/10.1097/00007611-200206000-00001>. (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12081211/>)
3. Curtis EM, Moon RJ, Harvey NC, Cooper C. The impact of fragility fracture and approaches to osteoporosis risk assessment worldwide. *Bone.* 2017 Nov;104:29-38. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2017.01.024>
4. Estanislau CA., Rahal, S.C., Müller, S.S., Louzada, M.J.Q., Estanislau, C.A., Araújo, F.A.P. Evaluation of femur of orchietomized guinea pigs by bone densitometry using dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) and mechanical testing. *Vet e Zootec.* 2010 mar.; 17(1):104-112. (<https://repositorio.unesp.br/items/3468dd3f-5496-4311-a849-ea449a6a33d6>)
5. Marshall D, Johnell O, Wedel H. Meta-analysis of how well measures of bone mineral density predict occurrence of osteoporotic fractures. *BMJ.* 1996 May 18;312(7041):1254-9. <https://doi.org/10.1136/bmj.312.7041.1254>
6. Leslie WD, Crandall CJ. Population-Based Osteoporosis Primary Prevention and Screening for Quality of Care in Osteoporosis, Current Osteoporosis Reports. *Curr Osteoporos Rep.* 2019 Dec;17(6):483-490. <https://doi.org/10.1007/s11914-019-00542-w>
7. Rubin KH, Friis-Holmberg T, Hermann AP, Abrahamsen B, Brixen K. Risk assessment tools to identify women with increased risk of osteoporotic fracture: complexity or simplicity? A systematic review. *J Bone Miner Res.* 2013 Aug;28(8):1701-17. <https://doi.org/10.1002/jbmr.1956>
8. Eftekhari-Sadat B, Ghavami M, Toopchizadeh V, Ghahvechi Akbari M. Wrist bone mineral density utility in diagnosing hip osteoporosis in postmenopausal women. *Ther Adv Endocrinol Metab.* 2016 Dec;7(5-6):207-211. <https://doi.org/10.1177/2042018816658164>
9. Ilic Stojanovic O, Vuceljic M, Lazovic M, Gajic M, Radosavljevic N, Nikolic D, Andjic M, Spiroski D, Vujovic S. Bone mineral density at different sites and vertebral fractures in Serbian postmenopausal women. *Climacteric.* 2017 Feb;20(1):37-43. <https://doi.org/10.1080/13697137.2016.1253054>
10. Mithal A, Bansal B, Kyer CS, Ebeling P. The Asia-Pacific Regional Audit-Epidemiology, Costs, and Burden of Osteoporosis in India 2013: A report of International Osteoporosis Foundation. *Indian J Endocrinol Metab.* 2014 Jul;18(4):449-54. <https://doi.org/10.4103/2230-8210.137485>.
11. Harvey NC, McCloskey EV, Mitchell PJ, Dawson-Hughes B, Pierroz DD, Reginster JY, Rizzoli R, Cooper C, Kanis JA. Mind the (treatment) gap: a global perspective on current and future strategies for prevention of fragility fractures. *Osteoporos Int.* 2017 May;28(5):1507-1529. <https://doi.org/10.1007/s00198-016-3894-y>
12. Aziziyeh R, Amin M, Habib M, Garcia Perlaza J, Szafranski K, McTavish RK, Disher T, Lüdke A, Cameron C. The burden of osteoporosis in four Latin American countries: Brazil, Mexico, Colombia, and Argentina. *J Med Econ.* 2019 Jul;22(7):638-644. <https://doi.org/10.1080/13696998.2019.1590843>

13. Elliot-Gibson V, Bogoch ER, Jamal SA, Beaton DE. Practice patterns in the diagnosis and treatment of osteoporosis after a fragility fracture: a systematic review. *Osteoporos Int.* 2004 Oct;15(10):767-78. <https://doi.org/10.1007/s00198-004-1675-5>.
14. Giangregorio L, Papaioannou A, Cranney A, Zytaruk N, Adachi JD. Fragility fractures and the osteoporosis care gap: an international phenomenon. *Semin Arthritis Rheum.* 2006 Apr;35(5):293-305. <https://doi.org/10.1016/j.semarthrit.2005.11.001>.
15. Haaland DA, Cohen DR, Kennedy CC, Khalidi NA, Adachi JD, Papaioannou A. Closing the osteoporosis care gap: increased osteoporosis awareness among geriatrics and rehabilitation teams. *BMC Geriatr.* 2009 Jul 14;9:28. <https://doi.org/10.1186/1471-2318-9-28>.
16. Mautalen C, Schianchi A, Sigal D, Gianetti G, Vidan V, Bagur A, González D, Mastaglia S, Oliveri B. Prevalence of Osteoporosis in Women in Buenos Aires Based on Bone Mineral Density at the Lumbar Spine and Femur. *J Clin Densitom.* 2016 Oct;19(4):471-476. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2016.01.003>.
17. Pinheiro MM, Ciconelli RM, Martini LA, Ferraz MB. Clinical risk factors for osteoporotic fractures in Brazilian women and men: the Brazilian Osteoporosis Study (BRAZOS). *Osteoporos Int.* 2009 Mar;20(3):399-408. <https://doi.org/10.1007/s00198-008-0680-5>.
18. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8117: Alumínio e suas ligas – Arames, barras, perfis e tubos extrudados - Requisitos. Rio de Janeiro, 10.p. 2011. (<https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/1122/abnt-nbr8117-aluminio-e-suas-ligas-arames-barras-perfis-e-tubos-extrudados-requisitos>)
19. Asensio-Lozano J, Suárez-Peña B, Vander Voort GF. Effect of Processing Steps on the Mechanical Properties and Surface Appearance of 6063 Aluminium Extruded Products. *Materials (Basel).* 2014 May 30;7(6):4224-4242. doi: <https://doi.org/10.3390/ma7064224>.
20. Vulcano LC, Santos FAMd, Godoy CLBd. Determinação da densidade mineral óssea da extremidade distal do rádio-ulna em gatos: correlação entre peso, sexo e idade. *Cienc Rural.* 2008;38(1):124-8. doi: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000100020>
21. Lucas K, Nolte I, Galindo-Zamora V, Lerch M, Stukenborg-Colsman C, Behrens BA, et al. 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.* 2017;13(1):130. <https://doi.org/10.1186/s12917-017-1047-y>
22. Robertson G, Wallace R, Simpson AHRW, Dawson SP. Preoperative measures of bone mineral density from digital wrist radiographs. *Bone Joint Res.* 2021 Dec;10(12):830-839. <https://doi.org/10.1302/2046-3758.1012.BJR-2021-0098.R1>
23. Lucas K, Nolte I, Galindo-Zamora V, Lerch M, Stukenborg-Colsman C, Behrens BA, Bougoucha 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 Vet Res.* 2017 May 11;13(1):130. <https://doi.org/10.1186/s12917-017-1047-y>
24. Sözen T, Özişik L, Başaran NÇ. An overview and management of osteoporosis. *Eur J Rheumatol.* 2017 Mar;4(1):46-56. <https://doi.org/10.5152/eurjrheum.2016.048>.
25. Abdelmohsen AM. Comparison of Central and Peripheral Bone Mineral Density Measurements in Postmenopausal Women. *J Chiropr Med.* 2017 Sep;16(3):199-203. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2017.08.001>
26. Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis. Report of a WHO Study Group. *World Health Organ Tech Rep Ser.* 1994;843:1-129. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7941614/>
27. Wani IM, Arora S. Computer-aided diagnosis systems for osteoporosis detection: a comprehensive survey. *Med Biol Eng Comput.* 2020 Sep;58(9):1873-1917. <https://doi.org/10.1007/s11517-020-02171-3>
28. Sollmann N, Löffler MT, Kronthaler S, Böhm C, Dieckmeyer M, Ruschke S, Kirschke JS, Carballido-Gamio J, Karampinos DC, Krug R, Baum T. MRI-Based Quantitative Osteoporosis Imaging at the Spine and Femur. *J Magn Reson Imaging.* 2021 Jul;54(1):12-35. <https://doi.org/10.1002/jmri.27260>

29. Dendere R, Whiley SP, Douglas TS. Computed digital absorptiometry for measurement of phalangeal bone mineral mass on a slot-scanning digital radiography system. *Osteoporos Int.* 2014 Nov;25(11):2625-30. <https://doi.org/10.1007/s00198-014-2792-4>
30. Cook WD. An investigation of the radiopacity of composite restorative materials. *Aust Dent J.* 1981 Apr;26(2):105-12. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.1981.tb02443.x>
31. Blake GM, Fogelman I. An update on dual-energy x-ray absorptiometry. *Semin Nucl Med.* 2010 Jan;40(1):62-73. <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2009.08.001>.
32. El Maghraoui A, Roux C. DXA scanning in clinical practice. *QJM.* 2008 Aug;101(8):605-17. <https://doi.org/10.1093/qjmed/hcn022>
33. Ravn P, Overgaard K, Huang C, Ross PD, Green D, McClung M. Comparison of bone densitometry of the phalanges, distal forearm and axial skeleton in early postmenopausal women participating in the EPIC Study. *Osteoporos Int.* 1996;6(4):308-13. <https://doi.org/10.1007/BF01623390>
34. Sotoca JM, Iñesta JM, Belmonte MA. Hand bone segmentation in radioabsorptiometry images for computerised bone mass assessment. *Comput Med Imaging Graph.* 2003 Nov-Dec;27(6):459-67. [https://doi.org/10.1016/s0895-6111\(03\)00053-3](https://doi.org/10.1016/s0895-6111(03)00053-3)
35. 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.* 1994 Sep;192(3):857-9. <https://doi.org/10.1148/radiology.192.3.8058960>
36. Kastl S, Sommer T, Klein P, Hohenberger W, Engelke K. Accuracy and precision of bone mineral density and bone mineral content in excised rat humeri using fan beam dual-energy X-ray absorptiometry. *Bone.* 2002 Jan;30(1):243-6. [https://doi.org/10.1016/s8756-3282\(01\)00641-x](https://doi.org/10.1016/s8756-3282(01)00641-x)
37. Braillon PM, Salle BL, Brunet J, Glorieux FH, Delmas PD, Meunier PJ. Dual energy x-ray absorptiometry measurement of bone mineral content in newborns: validation of the technique. *Pediatr Res.* 1992 Jul;32(1):77-80. <https://doi.org/10.1203/00006450-199207000-00015>
38. El Maghraoui A, Achemlal L, Bezza A. Monitoring of dual-energy X-ray absorptiometry measurement in clinical practice. *J Clin Densitom.* 2006 Jul-Sep;9(3):281-6. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2006.03.014>