

Desenvolvimento de um Fantoma de Mão para o Treinamento em Radiologia Médica

Development of a Hand Phantom for Teaching in Medical Radiology

Bohrer B.¹, Cassol L. V.², Paula V.³, Teloecken J.^{3,5}, Silva S. M.⁵, Claus V. T.^{4,5}

¹Programa de Graduação de Radiologia da Universidade Franciscana (UFN), Santa Maria, Brasil.

²Programa de Graduação de Física Médica da Universidade Franciscana (UFN), Santa Maria, Brasil.

³Serviço de Diagnóstico por Imagem - Dix, Santa Maria, Brasil.

⁴Programa de Graduação de Física Médica e Radiologia da Universidade Franciscana (UFN), Santa Maria, Brasil.

⁵Hospital Universitário de Santa Maria (HUSM)/Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Brasil.

Resumo

O presente estudo teve como objetivo principal o desenvolvimento e a validação de um modelo anatômico tridimensional (3D) de mão infantojuvenil (Fantoma), utilizando a tecnologia de impressão 3D. A primeira etapa envolveu a impressão 3D das estruturas ósseas mimetizadas em filamento ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno), seguida da confecção de um molde em silicone, preenchimento com polímero transparente para mimetizar os tecidos moles e a validação do Fantoma foi por meio de radiografias e tomografia computadorizada (TC). Os resultados obtidos das imagens radiográficas demonstraram uma correlação entre as estruturas anatômicas do fantoma e as de uma mão humana, evidenciando a precisão das características ósseas. Com base na análise de TC, os valores de densidade em Unidades Hounsfield (HU) para o córtex ósseo ($734,4 \pm 75,2$ HU) e osso trabecular ($235,5 \pm 43,9$ HU) do fantoma demonstraram concordância com os dados clínicos e a literatura pertinente, atestando a fidedignidade da técnica aditiva na reprodução das propriedades radiológicas do tecido ósseo; contudo, a cobertura de partes moles ($-160,4 \pm 21,7$ HU) sugere uma composição predominantemente adiposa e aerado do material utilizado, indicando uma área potencial para refinamento futuro visando aprimorar a representação dos tecidos moles. O fantoma desenvolvido representa uma economia superior a 95% em comparação com modelos comerciais, sem comprometer a qualidade da representação do tecido ósseo, validando ainda mais sua aplicação no contexto da prática clínica e da pesquisa.

Palavras-chave: Fantoma 3D, Impressão 3D, Tomografia Computadorizada, Radiologia, Simulação.

Abstract

The primary objective of the present study was the development and validation of a three-dimensional (3D) anatomical model of a pediatric hand (phantom) using 3D printing technology. The initial stage involved 3D printing of the mimicked bone structures using ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) filament, followed by the fabrication of a silicone mold, which was then filled with a transparent polymer to simulate soft tissues. The phantom was validated through radiographic imaging and computed tomography (CT). Radiographic images revealed a strong correlation between the anatomical structures of the phantom and those of a human hand, demonstrating the accuracy of the bone features. Based on CT analysis, the density values in Hounsfield Units (HU) for cortical bone (734.4 ± 75.2 HU) and trabecular bone (235.5 ± 43.9 HU) showed agreement with clinical data and relevant literature, confirming the reliability of additive manufacturing in replicating the radiological properties of bone tissue. However, the soft tissue covering (-160.4 ± 21.7 HU) suggested a predominantly adipose and aerated composition of the material used, indicating a potential area for future refinement to improve the representation of soft tissues. The developed phantom represents a cost reduction of over 95% compared to commercial models, without compromising the quality of bone tissue representation, further validating its application in both clinical practice and research contexts.

Keywords: 3D phantom, 3D printing, Computed tomography (CT), Radiology, Simulation.

1. Introdução

Um marco fundamental na história da medicina, a primeira radiografia foi realizada em 22 de dezembro de 1895, por Wilhelm Conrad Röntgen. A mão de sua esposa, Anna Bertha Ludwig, serviu como a primeira região do corpo humano a ser radiografada, revelando os ossos da mão, punho e parte distal dos ossos do antebraço (rádio e ulna). Essa descoberta revolucionária permitiu aos médicos visualizar o interior do corpo humano, dando origem à radiologia e impulsionando avanços na medicina diagnóstica (1).

Atualmente, a impressão tridimensional (3D) está transformando a maneira como ensinamos anatomia, especialmente em relação às estruturas

complexas da mão e do punho. Ao criar modelos tridimensionais palpáveis e detalhados, essa tecnologia oferece aos estudantes uma experiência de aprendizado mais rica e interativa (2).

Associada à impressão 3D, a manufatura aditiva destaca-se como uma tecnologia que permite criar objetos a partir de um modelo digital, adicionando camadas de material, assim objetos simuladores equivalentes ao corpo humano podem ser produzidos (3-4).

Essa nova tecnologia tem sido empregada para desenvolver fantasmas, modelos que simulam tecidos humanos, utilizados para treinamento, pesquisa e testes de controle de qualidade em radiologia. Durante a impressão 3D a sobreposição

de finas camadas de um determinado material depositado são utilizadas para formar o objeto escolhido (5). Além disso, os fantasmas podem ser utilizados para simular diferentes condições clínicas, permitindo um treinamento mais realista (6).

A reconstrução 3D a partir de dados de tomografia computadorizada (TC) tem revolucionado a forma como visualizamos e analisamos estruturas anatômicas complexas, como a mão. Essa técnica, que transforma dados bidimensionais em representações tridimensionais detalhadas, tem sido amplamente utilizada em diversas áreas da medicina, incluindo a ortopedia, a traumatologia e a cirurgia plástica (6).

Tendo em vista, que o exame radiográfico da mão, fundamental na prática clínica radiológica para diagnóstico e monitoramento de diversas patologias, permite a avaliação detalhada de suas estruturas ósseas, tecidos moles e espaços articulares (7); neste contexto, o presente estudo propõe um fantoma de mão esquerda impresso em 3D, com o objetivo de expandir as aplicações da reconstrução tridimensional em radiologia, simulando as características radiográficas da mão humana para aprimorar o ensino, a pesquisa e o treinamento em radiologia médica.

2. Materiais e Métodos

Para alcançar o objetivo do estudo foram necessárias quatro etapas principais: Produção das Estruturas Ósseas mimetizadas por Manufatura Aditiva; Confeção do Molde com Silicone Azul; Preenchimento do Molde com Borracha Transparente e Validação por meio de radiografias e tomografia computadorizada.

A primeira etapa foi realizada no LabMAIS do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), envolveu a produção por manufatura aditiva, ou seja, conversão de imagens tomográficas a partir de um arquivo digital em um modelo impresso 3D das estruturas ósseas mimetizadas em filamento ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno). Conforme Kahl (6), durante a impressão a temperatura da extrusora foi de 225 °C, com sua densidade de 63% e velocidade de impressão foi de 3500 mm/s. O ABS destaca-se como um polímero de baixa densidade e elevada flexibilidade, apresentando rigidez suficiente para a representação estrutural dos ossos da mão, do carpo e da porção distal dos ossos do antebraço (6).

Na Figura 1, são apresentados os materiais utilizados nas segunda e terceira etapas do estudo, descritas a seguir:

1. Siq Borflex: polímero em flocos, moldável, composto de copolímeros à base de estireno, etileno, butileno e óleos minerais, aquecido para derreter e se tornar fluido, facilitando seu uso em moldes;
2. Esponja de aço: fabricada com fios de aço inoxidável entrelaçados, com 2 pacotes de

- 8 unidades cada, inseridas na luva para simular a densidade;
3. Luva de borracha: utilizada como molde para a mão esquerda;
4. Catalisador: composto de ácido silícico com organometálico de estanho, promove a cura e reticulação da borracha de silicone azul;
5. Óleo de coco: aplicado ao redor da luva para facilitar sua remoção sem risco de danos ou aderência;
6. Borracha de silicone azul: material de alta flexibilidade que simula pele e tecidos moles, vulcanizável à temperatura ambiente, formando um produto elástico e resistente após adição do catalisador;
7. Pinça: utilizada para retirar a esponja de aço de dentro da luva de borracha;
8. Bastão de silicone: empregado para unir as falanges e estabilizar as estruturas anatômicas na posição correta.



Figura 1. Materiais para confecção do fantoma.

A segunda etapa consistiu na confecção de um molde com silicone azul, no qual uma luva de látex (item 3) foi preenchida com esponja de aço (item 2) e, em seguida, revestida externamente com silicone (item 6). Esse conjunto foi utilizado como material de cobertura para as estruturas ósseas impressas.

Na terceira etapa, as estruturas ósseas foram posicionadas dentro do molde de silicone, que foi então preenchido com Siq Borflex (item 1), material selecionado por sua capacidade de simular a camada de tecidos moles que recobre o esqueleto (8). Com isso, as peças ósseas impressas foram incorporadas ao preenchimento, resultando em um fantoma com elevado grau de realismo anatômico.

Na quarta etapa, seguindo a metodologia de Kahl (6), realizamos radiografias nas incidências básicas da mão para avaliar a capacidade do fantoma em gerar contraste entre as estruturas impressas e a borracha. Adicionalmente, utilizamos um scanner de tomografia computadorizada multislice para

obter uma análise mais detalhada da densidade e atenuação das estruturas do Fan toma. O custo total foi calculado somando os valores apresentados na Tabela 1. Os valores referentes ao protocolo de aquisição de imagens por TC estão detalhados na Tabela 2.

Tabela 1. Informações do custo para construção do fantoma

Item	Quantidade	Valor (R\$)	Total (R\$)
Impressão 3D com ABS	-	350,00	350,00
Borracha de silicone azul 2 kg		50,00/kg	100,00
Borracha de silicone transparente	0,4 kg	392,00/kg	156,80
Luva de látex	1 unidade	10,00	10,00
Esponja de aço	1 unidade	4,00	4,00
Total			620,80

Fonte: A autora (2025).

Tabela 2. Informações do protocolo de TC

Exam Information				
StudyID:	2023394			
Time:	December 14, 2024, 10:00:35 AM			
Total DIP:	128.02 mGy*cm			
Estimated Dose savings:	0,00%			
Dose				
#	Series Description	Scan Mode	mA.s	kV
1		Surview		120
2	Mão 3D	Helical	59	120
#	N*T [mm]	CTDIvol [mGy]	DLP[mGy*cm]	Phantom Type [cm]
1	2x0,625	0,2	4,94	Body 32
2	64x0,625	4,86	123,08	Body 32

Fonte: A autora (2025).

O CTDIvol e o DLP são parâmetros obtidos durante a aquisição dos dados e são indicadores para avaliação da dose de radiação em tomografia computadorizada, auxiliando os profissionais de saúde a otimizarem os protocolos de aquisição.

3. Resultados

Os resultados iniciais deste estudo demonstraram a viabilidade da reconstrução tridimensional das estruturas ósseas da mão, punho e a extremidade distal do antebraço. A representação digital obtida permitiu a visualização detalhada da morfologia e da interconexão dessas complexas estruturas anatômicas, fornecendo a base para as etapas subsequentes de prototipagem física do modelo, conforme ilustrado na Figura 2.

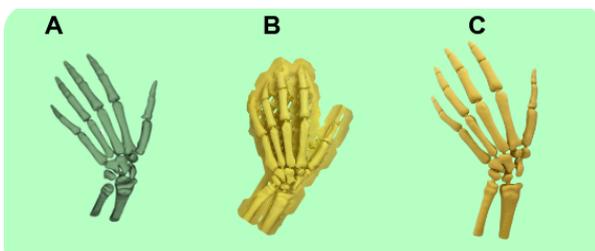


Figura 2. Estruturas representativas dos ossos da mão punho e parte distal do antebraço esquerdo. (A) representação digital no monitor; (B) materialização física após o processo de impressão 3D; (C) peça anatômica final.

A Figura 3 ilustra detalhadamente cada etapa do processo de construção do Molde com borracha

transparente. Em A foi confeccionado o molde externo de silicone azul, já em B-D foi feita a integração das estruturas ósseas ao Siq Borflex. Essa combinação garantiu, em E, a obtenção de um molde resistente bem como flexível, capaz de reproduzir as características anatômicas da mão.

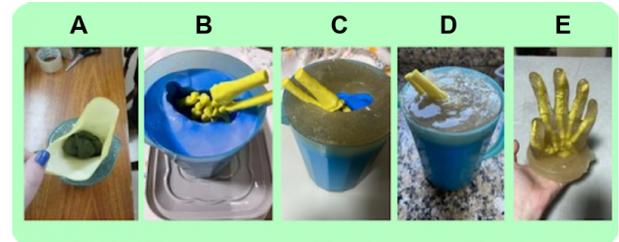


Figura 3. Etapas de Desenvolvimento do Fantoma de Mão Infantojuvenil. (A) Confeccção do Molde com Silicone Azul; (B-D) Integração das Estruturas Ósseas; (C) Preenchimento com Borracha Transparente.

Neste estudo, foi utilizado um equipamento radiográfico da marca Intecal, modelo MAAF, operado com um gerador de alta frequência. As imagens foram obtidas sem o uso de grade, mantendo uma distância fonte-receptor de imagem (DFR) de 1 metro. Os parâmetros técnicos empregados foram 50 kV, 200 mA e 3,2 mA.s. Para a aquisição das imagens digitais, utilizou-se um sistema de radiologia computadorizada (CR) da marca Carestream, com um cassete de 24 cm x 30 cm. Na Figura 4, estão representados o posicionamento e geometria para o exame radiográfico de mão (fantoma).

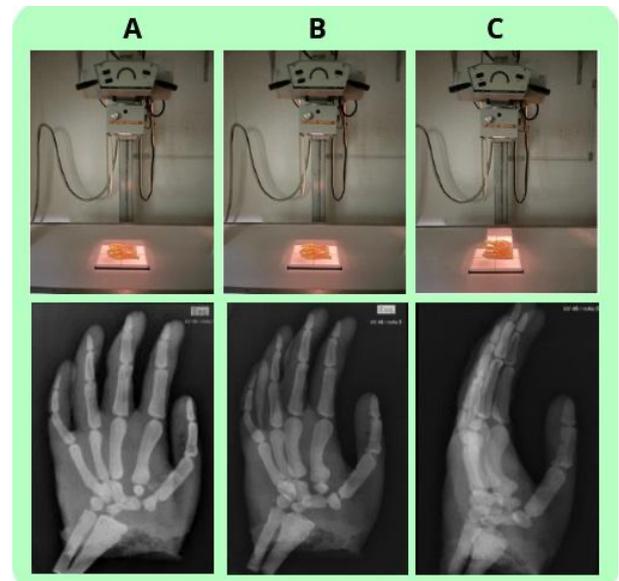


Figura 4. Radiografia da Mão: Avaliação de Estruturas Ósseas, Tecidos Moles e Espaços Articulares para Diagnóstico. (A) Incidência Pósterio-anterior-PA; (B) Incidência Oblíqua; (C) Incidência Lateral.

Conforme observado na Figura 4, devido às propriedades de rigidez e densidade inerentes ao material estabelecem um contraste significativo com as simulações de tecidos moles, resultando em uma representação visual nítida e acurada das distintas densidades teciduais observadas em exames radiográficos. O escanograma de

planejamento do estudo da mão, obtido por meio de tomografia computadorizada multidetectora de 64 canais e apresentado na Figura 5, revela uma representação detalhada do fantoma construído para a investigação.

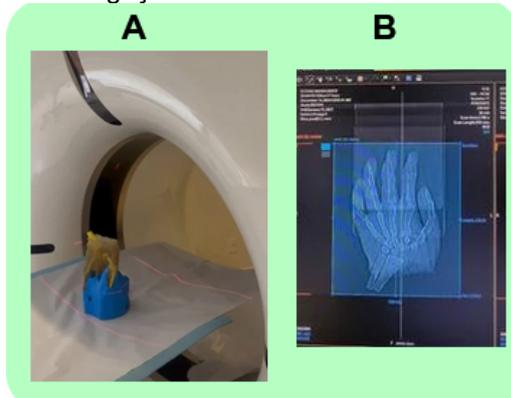


Figura 5. Imagem do posicionamento e do fantoma de Mão. (A) Posicionamento do fantoma no equipamento de TC; (B) Escanograma.

A tomografia computadorizada helicoidal (TC), empregada para aquisição volumétrica rápida e completa, possibilita a reconstrução multiplanar e a caracterização precisa das estruturas anatômicas, superando as limitações da radiografia convencional. Essa técnica é bem estabelecida em estudos biomecânicos, avaliação de próteses e desenvolvimento de tratamentos para patologias da mão.

Ao quantificar a dose média por camada (CTDIvol) e a dose total do exame (DLP), é possível comparar diferentes equipamentos e ajustar parâmetros como a espessura de corte (0,625 mm neste caso, indicando alta resolução espacial) e o produto da corrente pelo tempo (mA.s) para obter a menor dose possível sem comprometer a qualidade da imagem.

A reconstrução tridimensional, como a apresentada na Figura 6, demonstra a capacidade da tomografia computadorizada multidetector em gerar imagens detalhadas, mesmo com a otimização da dose.

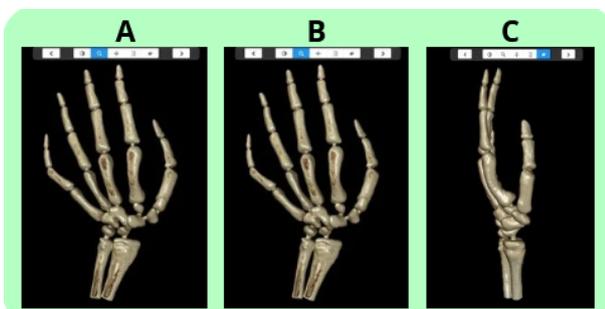


Figura 6. Reconstrução Tridimensional da TC Multidetectors de 64 Canais do Fantoma de Mão. (A) Pósterio-anterior-PA; (B) Obliqua; (C) Lateral.

Inicialmente, os dados brutos são submetidos a uma série de filtros e transformações matemáticas para a geração de imagens bidimensionais em diferentes planos anatômicos. Posteriormente, essas imagens são empilhadas e processadas por

softwares especializados para a criação de um modelo tridimensional detalhado do fantoma, permitindo a visualização e análise das estruturas ósseas e dos tecidos moles sob diversos ângulos.

A partir das imagens tomográficas da mão, foram definidas três regiões de interesse (ROIs) em cortes para cada tipo de tecido (partes moles, osso cortical e osso trabecular) evidenciando a distribuição da densidade em Unidades Hounsfield (HU), conforme exemplificado na Figura 7.

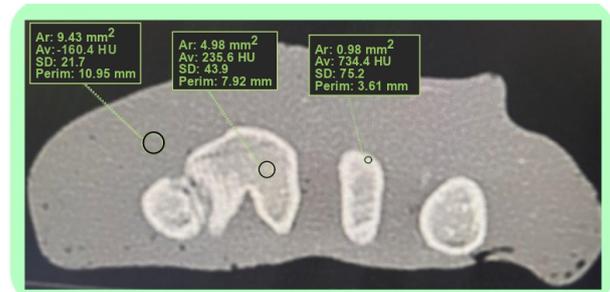


Figura 7. Corte Axial do Fantoma de Mão: Análise da Densidade em HU. Onde, Ar-área (mm²) do ROI (do inglês, Region of Interest); AV-avaliação por unidades de Hounsfield (HU) e SD desvio-padrão (do inglês, standard deviation) dos valores dentro do ROI e Perim (perímetro) em mm.

A análise dos valores de HU em três regiões de interesse (ROIs) na imagem de TC revelou uma variação considerável na densidade dos tecidos.

A componente de partes moles apresentou um valor de $-160,4 \pm 21,7$ HU, característico de tecidos com baixa densidade, como o tecido adiposo (9). A mão humana, no entanto, é composta por diversos tipos de tecidos moles, o que pode levar a uma certa heterogeneidade nos valores de HU nesta região.

Em seguida, a componente representativa do osso trabecular apresentou um valor de $235,5 \pm 43,9$ HU, apresentando uma densidade menor em comparação ao valor de osso cortical da literatura (9). O desvio padrão de 43,9 sugere uma certa porosidade e variabilidade na densidade dessa região, que pode ser equiparado com valores reais devido à presença de medula óssea.

Por fim, a componente cortical óssea apresentou um valor de $734,4 \pm 75,2$ HU, alinhado com o valor para tecido ósseo da literatura (9) e indicando uma densidade consideravelmente elevada. O desvio padrão de 75,2 sugere uma variação na densidade dentro dessa região, que pode ser atribuída a diferentes fatores, como a espessura do córtex ósseo e pequenas heterogeneidades no material utilizado para simular o osso.

4. Discussão

O uso de borracha transparente como material de preenchimento das partes moles possibilitou a reprodução dos tecidos de revestimento, assegurando uma integração com as estruturas ósseas criadas por impressão 3D (Figura 3H).

Os testes radiográficos realizados, mostrados na Figura 4, demonstraram a capacidade do fantoma

de simular com precisão as estruturas anatômicas da mão, permitindo visualizações detalhadas das partes ósseas e moles, indispensáveis para o ensino e treinamento em radiologia.

Conforme estudos de Pavan (10), a TC permitiu a obtenção de imagens tridimensionais e a quantificação precisa da atenuação, permitindo uma comparação direta com tecidos humanos. Essa comparação foi importante para garantir a simulação realista da interação da radiação e, conseqüentemente, a validação do fantoma para estudos de dosimetria e otimização de protocolos.

Os valores de CTDIvol e DLP, apresentados na Tabela 2, indicam uma dose de radiação relativamente baixa para o exame, o que é desejável para minimizar os riscos associados à radiação ionizante. No entanto, a interpretação precisa desses valores depende do contexto clínico específico e da região anatômica estudada. A soma das DLPs (128,02 mGy*cm) sugere que o exame pode ter abrangido uma região anatômica mais extensa ou que múltiplas fases foram adquiridas.

A análise dos valores de HU obtidos permitiu avaliar a precisão da simulação dos tecidos ósseos e de partes moles no fantoma. Para a componente óssea (superfície e região interna das estruturas impressas), os valores obtidos sugerem uma boa aproximação com a realidade, porém estudos mais detalhados são necessários para confirmar essa hipótese, conforme mostrado na Figura 7. No caso da componente de partes moles, o valor obtido é compatível com tecido adiposo, mas é preciso considerar a heterogeneidade dos tecidos moles da mão.

Os valores de Unidades Hounsfield obtidos em nosso estudo para as diferentes componentes teciduais da mão humana demonstram uma concordância geral com as faixas de valores de referência apresentadas por Chougule et al. (11) em sua revisão sobre valores típicos de HU para diversos tecidos do corpo humano. Essa consistência sugere que a densidade dos tecidos analisados em nossa amostra se alinha com os padrões estabelecidos na literatura.

Para tecido mole, o valor médio de HU para a componente de partes moles em nosso estudo ($-160,4 \pm 21,7$ HU) se situa dentro da ampla faixa reportada por Chougule et al. (11) (entre -700 a 225 HU). Contudo, a análise mais detalhada revela uma proximidade significativa com a faixa específica para tecido adiposo (-205 a -51 HU em adultos e -212 a -72 HU em crianças). Essa observação é relevante, pois a mão humana possui uma quantidade considerável de tecido adiposo subcutâneo, o que pode influenciar o valor médio de HU da região de partes moles como um todo. A heterogeneidade observada (desvio padrão de $\pm 21,7$ HU) reflete a complexidade da composição tecidual da mão, que inclui não apenas gordura, mas também músculos, tendões, vasos sanguíneos e nervos, cada um com diferentes densidades e, portanto, distintos valores de HU. Essa variabilidade é esperada e ressalta a

importância de definir precisamente as Regiões de Interesse em estudos futuros para uma análise mais específica dos diferentes tipos de tecidos moles.

Para osso cortical, o valor médio encontrado em nosso estudo foi $734,4 \pm 75,2$ HU encontra-se dentro da faixa reportada por Chougule et al. (11) para osso cortical adulto (662 a 1988 HU) e criança (586 a 2198 HU). Embora esteja dentro da faixa, nosso valor médio tende ao limite inferior, sugerindo uma densidade cortical dentro do espectro típico, mas possivelmente indicando uma menor mineralização ou maior porosidade em comparação com o limite superior da faixa. O desvio padrão de $\pm 75,2$ HU aponta para uma certa variabilidade na densidade cortical dentro da região analisada, o que pode ser atribuído a diferenças na espessura do córtex ósseo ou a pequenas heterogeneidades na estrutura óssea.

Para osso trabecular, o valor médio de HU em nosso estudo foi $235,5 \pm 43,9$ HU e também se mostra consistente com a faixa de valores para esse tecido apresentada por Chougule et al. (11) (adulto: 148 a 661 HU; criança: 156 a 585 HU). A menor densidade observada em comparação com o osso cortical é esperada devido à natureza porosa do osso trabecular e à presença de medula óssea, que possui valores de HU significativamente mais baixos. O desvio padrão de $\pm 43,9$ HU sugere uma variabilidade na densidade trabecular, o que pode refletir diferentes graus de porosidade e a distribuição da medula óssea dentro da ROI analisada.

A busca por soluções mais acessíveis e eficientes na produção de fantasmas de mão levou ao desenvolvimento deste modelo inovador. Ao utilizar materiais como ABS e borrachas de silicone, combinados com a tecnologia de impressão 3D, conseguimos reduzir drasticamente os custos, atingindo um valor total de apenas R\$620,80. Comparado aos fantasmas comerciais, que podem custar entre R\$12.000 e R\$16.000 (12), representamos uma economia superior a 95%. Essa redução significativa democratiza o acesso a essa ferramenta essencial para pesquisa e ensino, demonstrando o grande potencial da fabricação aditiva na produção de equipamentos médicos de alta qualidade e baixo custo.

5. Conclusões

A manufatura aditiva, aliada ao Siq Borflex, oferece uma solução inovadora e de baixo custo para a criação de fantasmas personalizados para a radiologia. Conclui-se que o Fantoma proposto constitui um modelo anatômico realista, capaz de reproduzir as propriedades de atenuação dos tecidos da mão, conforme observado nas imagens radiográficas e de tomografia computadorizada. Essa sinergia entre tecnologia e material abre novas perspectivas para a radiologia, possibilitando simulações mais realistas para ensino, pesquisa e desenvolvimento de novos objetos simuladores

para testes de controle de qualidade nas diferentes modalidades de radiodiagnóstico. No entanto, para otimizar esse processo e expandir suas aplicações, são necessárias investigações contínuas em relação a novos materiais, otimização dos processos de impressão e validação em diferentes cenários clínicos.

Agradecimentos

Agradecemos o incentivo intelectual dos professores dos cursos de Física Médica e Radiologia da Universidade Franciscana (UFN). A parceria entre a UFN e a clínica de diagnóstico por imagem - DIX que foi fundamental para a realização deste estudo.

Referências

1. Bushong S. *Ciência Radiológica para Tecnólogos*. London: Elsevier Health Sciences Brazil; 2011.
2. Neijhoft J, Jasmina Sterz, Rüsseler M, Britz V, Beppler L, Freund V, et al. Evaluation of a 3D-printed hands-on radius fracture model during teaching courses. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*. 2023 Jul 31;50.
3. Cleland S, Chan P, Chua B, Crowe SB, Dawes J, Kenny L, et al. Dosimetric evaluation of a patient-specific 3D-printed oral positioning stent for head-and-neck radiotherapy. *Physical and Engineering Sciences in Medicine*. 2021 Jun 10;44(3):887–99.
4. Chatchumnann N, Kingkaew S, Aumnate C, Sanghangthum T. Development and dosimetric verification of 3D customized bolus in head and neck radiotherapy. *Journal of Radiation Research [Internet]*. 2022 May 18 [cited 2023 Jun 8];63(3):428–34. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35420693/>
5. Savi MBMB. *Estudo de materiais e desenvolvimento de um simulador antropomórfico de cabeça e pescoço por meio de impressão 3D [tese]*. São Paulo (SP): Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (USP); 2022.
6. Kahl GG. *Desenvolvimento de um Phantom flexível de mão para fins didáticos [dissertação]*. Florianópolis (SC): Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC); 2020.
7. Bontrager KL, Lampignano JP. *Tratado de Posicionamento Radiográfico e Anatomia Associada*. Elsevier Brasil; 2015.
8. Lima YT. *Simulador para pericardiocentese: concepção, desenvolvimento e prototipagem*; 2023.
9. Romans L. *Computed Tomography for Technologists: A comprehensive text*. Lippincott Williams & Wilkins; 2018.
10. Pavan ALM. *Desenvolvimento e Construção de um Fantoma Homogêneo de Mão para Otimização de Imagens Radiográficas [dissertação]*. Botucatu (SP): Instituto de Biociências, Câmpus de Botucatu (UNESP); 2014.
11. Chougule VN, Mulay A, Ahuja BB. Clinical case study: spine modeling for minimum invasive spine surgeries (MISS) using rapid prototyping. *Bone (CT)*. 2018; 226: 3071.
12. Erler-zimmer.de [homepage on the Internet]. Röntgenphantom Hand, Transparent. [acesso 2024 Dec 04]. Available from: <https://erler-zimmer.de/medizinische-simulatoren/roentgen-ct/9314/roentgenphantom-hand-transparent?number=7210>

Contato:

Bárbara Bohrer
 Universidade Franciscana - UFN
 R. dos Andradas, 1614 - Centro, Santa Maria - RS,
 97010-030
 barbararenzi21@gmail.com