



Impressão 3D de um simulador de cabeça e pescoço de baixo custo aplicada à otimização de doses em exames de tomografia pediátrica

Francieli Bernardo Ribeiro | francieli.br@aluno.ifsc.edu.br ¹
Jaqueline Tainara Costa | jaqueline.tc06@aluno.ifsc.edu.br ²
Daiane Cristini Barbosa de Souza | daiane.cristini@ifsc.edu.br ³
Matheus Brum Marques Bianchi Savi | matheus.savi@ifsc.edu.br ⁴

Edital de fomento do trabalho: FAPESC N.º 23/2025

Trabalho de Pesquisa

DT 4 - Inovação Tecnológica, Processos Produtivos e Futuro das Tecnologias

Resumo:

Exames que utilizam altas doses de radiação como a Tomografia Computadorizada (TC) devem ser constantemente monitorados e otimizados, especialmente no público infantil, que possuem maior sensibilidade à radiação devido ao seu organismo em desenvolvimento, no qual órgãos como a tireóide e o cristalino, são particularmente sensíveis à radiação. O monitoramento da exposição à radiação nos equipamentos de TC ocorre por meio do uso de simuladores do corpo humano, conhecidos como fantasmas antropomórficos. Porém, existe uma dificuldade em encontrar e adquirir simuladores específicos para o público infantil, no qual os modelos disponíveis para a aquisição comercial são geralmente voltadas à anatomia de um adulto ou possuem um custo elevado. Este projeto propõe o desenvolvimento, por impressão 3D, de um fantoma antropomórfico infantil de cabeça e pescoço. Essa solução de baixo custo permitirá o monitoramento dosimétrico detalhado, replicando as características de uma criança de 5 anos e simulando a interação da radiação nos tecidos. O objetivo é criar uma ferramenta acessível e reproduzível para simulação dosimétrica, com foco no avanço contínuo da proteção radiológica pediátrica.

Palavras-chave: Impressão Tridimensional; Fantasmas de Imageamento; Manufatura Aditiva.

¹ Estudante/egresso do curso Mestrado Profissional em Proteção Radiológica, IFSC.

² Estudante/egresso do curso Bacharelado em Engenharia Mecatrônica, IFSC.

³ Servidor docente do curso Tecnólogo em Radiologia, IFSC.

⁴ Servidor docente do curso Tecnólogo em Radiologia, IFSC.

Introdução

Embora seja uma técnica de diagnóstico eficaz e muito utilizada para identificar patologias, a Tomografia Computadorizada (TC) gera preocupações quando aplicada no público pediátrico devido ao uso da radiação ionizante. Como os tecidos e órgãos infantis estão em constante desenvolvimento, eles apresentam maior sensibilidade à radiação. Além disso, a expectativa de vida mais longa potencializa as chances de surgimento de danos biológicos a longo prazo (IAEA, 2023; Sutil *et al.*, 2022; UNSCEAR, 2000).

Para atingir a otimização das doses de radiação em exames de TC, diversas estratégias são empregadas, incluindo o ajuste fino dos parâmetros de exposição, o rigor na indicação clínica, o uso de níveis de referência e a prática constante de testes de dose de radiação, chamados de testes dosimétricos (Sutil *et al.*, 2022). Segundo a Associação Americana de Física Médica (AAPM, 2008), o caminho mais eficaz para estimar a dose real em um paciente é realizar medições em simuladores (fantomas) que reproduzam suas características físicas.

Os simuladores anatômicos são fundamentais para medições da interação à radiação com o corpo humano, porém o alto preço e a pouca oferta no mercado dificultam a compra desses modelos. Além disso, os fantomas disponíveis costumam ser padronizados para corpos adultos, o que não atende às exigências de exames pediátricos em diferentes faixas etárias. Diante da inviabilidade de adquirir fantomas comerciais, a tecnologia de manufatura aditiva conhecida como impressão tridimensional (3D) surge como uma alternativa para a sua fabricação (Kunert *et al.*, 2023).

Este projeto propõe, portanto, o desenvolvimento de um fantoma de cabeça e pescoço do tipo dosimétrico e de tamanho infantil por meio da impressão em 3D. O foco é garantir um método acessível e de baixo custo para a produção desta ferramenta, fundamental para contribuir com a otimização contínua da proteção radiológica na pediatria.

Fundamentação teórica

A TC gera imagens diagnósticas por meio da transmissão de raios X pelo corpo humano, no qual essa interação com o corpo humano tem o potencial de desestabilizar

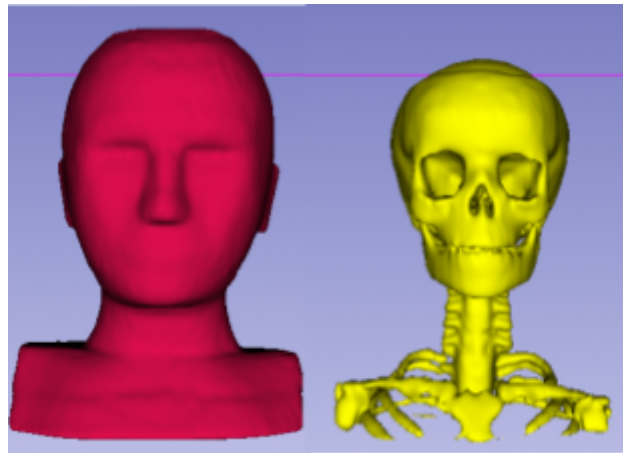
moléculas, como o DNA, o que pode levar a duas categorias de efeitos: determinísticos, que se manifestam como danos teciduais, e estocásticos, caracterizados por mutações e efeitos de longo prazo (Okuno, 2013; ICRP, 2007). O paciente pediátrico apresenta maior sensibilidade a radiação devido à alta taxa de divisão celular de seus tecidos em desenvolvimento e seu menor tamanho corporal, fazendo com que mais órgãos fiquem dentro ou próximos ao feixe primário de radiação durante um exame (Alzen e Böhm, 2011; Malchair e Maccia, 2020). Órgãos localizados na região da cabeça e pescoço, como a tireoide e o cristalino, são particularmente vulneráveis a essas exposições (American Thyroid Association, 2019; ICRP, 2012).

Para simular as interações da radiação ionizante com o organismo e realizar medições dosimétricas precisas, utilizam-se fantasmas antropomórficos (AAPM, 2008). A fabricação desses simuladores por meio da impressão 3D exige materiais com composição elementar e densidade de massa que mimetizem os tecidos humanos para não introduzir erros na estimativa da dose (ICRU, 1992; Savi *et al.*, 2020). A utilização de filamentos específicos para simular tecidos e ossos permite que o fantoma reproduza de forma fidedigna a distribuição de dose que ocorreria em um paciente real (Ahmed *et al.*, 2024)

Procedimentos metodológicos

A pesquisa adota uma abordagem quantitativa, investigativa e experimental. O processo de manufatura aditiva inicia-se com a obtenção de imagens em formato DICOM® de um fantoma ATOM® pediátrico (modelo 5 anos), cedidas em parceria com o Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD). As imagens são então segmentadas no *software* 3D Slicer® (imagem 1) para isolar estruturas anatômicas específicas, sendo posteriormente realizada a impressão em uma impressora Creality K2 Plus® no Laboratório de Manufatura Aditiva e Inovação em Saúde (LabMAIS) do Instituto Federal de Santa Catarina - Câmpus Florianópolis.

Imagem 1 - Imagens segmentadas em 3D no *software* Slicer® do fantoma ATOM® 5 anos, exibindo a divisão entre revestimento externo (esquerda) e tecido ósseo (direita).



Fonte: Autoria própria, 2026.

Para garantir a semelhança dos tecidos humanos, serão utilizados filamentos à base de ABS para simular tecidos moles/radiolúcidos e filamentos XCT-A para estruturas ósseas/radiopacas. O design impresso incluirá 27 cavidades dosimétricas específicas (na região dos olhos, cérebro, tireoide) equivalentes ao modelo comercial, permitindo a posterior inserção de dosímetros para realização dos testes dosimétricos em equipamentos de TC.

Resultados esperados

O projeto visa o desenvolvimento de um fantoma dosimétrico e antropomórfico da região da cabeça e pescoço, em escala pediátrica, fabricado por impressão 3D. O fantoma utilizará dosímetros termoluminescentes (TLD-100) de dimensões aproximadas de 3,1mm x 3,1mm x 0,9mm, fornecidos em parceria com o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN). A avaliação dosimétrica ocorrerá no tomógrafo do hospital público participante, por meio de exposições tomográficas submetidas a diferentes técnicas e acessórios, tais como os dispositivos de posicionamento do paciente.

Espera-se que os resultados contribuam significativamente para o avanço da proteção radiológica pediátrica, no qual a solução proposta utiliza a tecnologia de manufatura aditiva para criar um modelo reproduzível e de baixo custo, superando a



limitação associadas ao alto custo e à baixa disponibilidade de modelos pediátricos comerciais existentes no mercado.

Referência ao fomento recebido

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) pelo apoio financeiro fornecido por meio do edital FAPESC N.º 23/2025, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro concedido ao Mestrado Profissional em Proteção Radiológica (MPPR) por meio do Programa Pró-Equipamentos, ao Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) pelo fornecimento dos dados do fantoma, ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), ao Laboratório de Manufatura Aditiva e Inovação à Saúde (LabMais) e ao IFSC câmpus Florianópolis.

Referências

AAPM. AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE. **The Measurement, Reporting, and Management of Radiation Dose in CT**: Report of AAPM Task Group 23: CT Dosimetry. Alexandria, n. 96, jan. 2008. DOI: <https://doi.org/10.37206/97>. Acesso em: 04 out. 2024.

ALZEN, G.; BENZ-BÖHM, G. Radiation protection in paediatric radiology. **Deutsches Ärzteblatt International**, Berlin, v. 108, n. 24, p. 407-414, 17 jun. 2011. DOI: <https://doi.org/10.3238/arztebl.2011.0407>. Acesso em: 03 nov. 2025.

AHMED, A. M. M. *et al.* Tailoring the Mass Density of 3D Printing Materials for Accurate X-ray Imaging Simulation by Controlled Underfilling for Radiographic Phantoms. **Polymers**, Basel, v. 16, n. 8, p. 1116, 16 abr. 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym16081116>. Acesso em: 18 set. 2024.



AMERICAN THYROID ASSOCIATION. **Childhood head & neck irradiation**. American Thyroid Association, 2014. Disponível em:

<https://www.thyroid.org/childhood-head-neck-irradiation/>. Acesso em: 02 out 2024.

IAEA. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Safety Standards and Related Publications No 112: Leadership and Management for Safety: General Safety**

Requirements. Vienna: IAEA, 2023. Disponível em:

<https://www.iaea.org/publications/11204/leadership-and-management-for-safety>. Acesso em: 08 ago 2025.

ICRP. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection: ICRP Publication 103. **Annals of the ICRP**, Oxford, v. 37, n. 2-4, 2007. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.icrp.2007.11.001>. Acesso em: 22 mar. 2025.

ICRP. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. **ICRP Annual Report 2012**. Ottawa: ICRP, 2012. Disponível em:

<https://www.icrp.org/docs/ICRP%20Annual%20Report%202012.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2025.

ICRU. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS. **Phantoms and computational models in therapy, diagnosis, and protection**.

Bethesda: ICRU, 1992. (ICRU Report, n. 48). DOI: <https://doi.org/10.1093/jicru/os25.1.1>. Acesso em: 05 set. 2025.

KUNERT, P. *et al.* Reproduction of a conventional anthropomorphic female chest phantom by 3D-printing. **Medical Physics**, Alexandria, v. 50, n. 8, p. 4734-4743, 6 jul. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/mp.16587>. Acesso em: 19 mai. 2025.

MALCHAIR, F.; MACCIA, C. Practical advices for optimal CT scanner dose in children. **Radioprotection**, Paris, v. 55, n. 2, p. 117-122, 1 abr. 2020. Disponível em:



<https://www.radioprotection.org/articles/radiopro/abs/2020/02/radiopro190018/radiopro190018.html>. Acesso em: 05 mai. 2025.

OKUNO, Emico. Efeitos biológicos das radiações ionizantes: acidente radiológico de Goiânia. **Estudos Avançados**, São Paulo, Brasil, v. 27, n. 77, p. 185-200, 11 abr. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142013000100014>. Acesso em: 12 abr. 2025.

SAVI, M. *et al.* Commercial filament testing for use in 3D printed phantoms. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 174, p. 1-8, 5 abr. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2020.108906>. Acesso em: 23 set. 2024.

SUTIL, M. R. *et al.* Dose estimation in pediatric CT scans using Virtual Dose® software. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 11, n. 5, p. 1-10, 30 mar. 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i5.26435>. Acesso em: 18 set. 2024.

UNSCEAR. **Sources and Effects of Ionizing Radiation**: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Volume I: Sources. New York: United Nations, 2000.