

15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

DESENVOLVIMENTO DE UM FANTOMA ÓPTICO DE DEDO VIA IMPRESSÃO 3D E AVALIAÇÃO DE SUA TONALIDADE DE PELE

SAMUEL VINICIUS SANTOS CEZARE¹, PAULO CESAR MIORALLI², CRISTIANO DONIZETI
FERRARI³, LUISMAR BARBOSA DA CRUZ JUNIOR⁴

¹ Graduando em Técnico em Mecatrônica, Aluno do Programa PIVICT, IFSP, Câmpus Catanduva, s.cezare@aluno.ifsp.edu.br.

² Doutor em Engenharia Mecânica, Docente, IFSP, Câmpus Catanduva, mioralli@ifsp.edu.br.

³ Especialista em Docência no Ensino Superior, Docente, IFSP, Câmpus Catanduva, cferrari@ifsp.edu.br.

⁴ Pós-doutorando em Física e Ciência dos Materiais, Colaborador, IFSC-USP, Câmpus São Carlos, luismar@alumni.usp.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 1.05.01.00-2 Física Geral

RESUMO: A pandemia da COVID-19 destacou desafios significativos na saúde pública, particularmente em relação à precisão de dispositivos médicos como oxímetros, que apresentaram altas taxas de erro em pacientes com tons de pele mais escuros. Este estudo tem como objetivo explorar a viabilidade de produzir fantasmas de dedos utilizando impressoras 3D e filamentos de plásticos reciclados como alternativas ao uso de pele humana *ex vivo* ou *in vivo* em pesquisas médicas. Um dos principais desafios abordados é a reprodução das tonalidades de pele, especialmente as mais escuras, essenciais para testes precisos de dispositivos. Neste trabalho um fantoma de dedo humano é confeccionado utilizando impressão 3D com o uso de um filamento de plástico pigmentado como proposta para substituir a pele humana. O pigmento do filamento na confecção do fantoma visou caracterizar uma determinada tonalidade de pele. Uma comparação do fantoma com um dedo humano foi realizada a partir de uma avaliação colorimétrica e de uma análise das papilaridades superficiais por meio de microscopia. Os resultados demonstraram que a impressão 3D pode reproduzir com sucesso detalhes anatômicos moderados, tornando-se um método viável para a criação de fantasmas. Esta pesquisa auxilia a ciência médica e contribui para o desenvolvimento de tecnologias mais inclusivas.

PALAVRAS-CHAVE: fantasmas, impressão 3D, tons de pele, dispositivos médicos.

DEVELOPMENT OF AN OPTICAL FINGER PHANTOM VIA 3D PRINTING AND EVALUATION OF ITS SKIN TONE

ABSTRACT: The COVID-19 pandemic has highlighted significant challenges in public health, particularly regarding the accuracy of medical devices such as oximeters, which have shown high error rates in patients with darker skin tones. This study aims to explore the feasibility of producing finger phantoms using 3D printers and recycled plastic filaments as alternatives to the use of *ex vivo* or *in vivo* human skin in medical research. One of the main challenges addressed is the reproduction of skin tones, especially darker ones, which is essential for accurate device testing. In this work, a human finger phantom is manufactured using 3D printing using a pigmented plastic filament as a proposed replacement for human skin. The pigment in the filament in the phantom was used to characterize a specific skin tone. A comparison of the phantom with a human finger was performed based on a colorimetric evaluation and an analysis of surface papillary areas by means of microscopy. The results demonstrated that 3D printing can successfully reproduce moderate anatomical detail, making it a viable method for creating phantoms. This research supports medical science and contributes to the development of more inclusive technologies.

KEYWORDS: phantoms, 3D printing, skin tones, medical devices.

INTRODUÇÃO

A pandemia da COVID-19 trouxe à tona uma série de desafios, especialmente no campo da saúde pública, evidenciando limitações em dispositivos médicos como os oxímetros, que apresentaram taxas de erro significativas em pacientes com pele negra (Sjoding, 2020). Esse fato destacou a urgência em desenvolver alternativas que possam simular com precisão a diversidade de tonalidades de pele humana, de forma a garantir a eficácia e a segurança desses dispositivos para todos os grupos populacionais (Dabrowska *et al.*, 2016).

Este estudo se propõe a investigar a viabilidade da produção de fantasmas de dedos utilizando impressoras 3D e filamentos de plásticos reciclados, com o objetivo de substituir o uso de pele humana *ex* ou *in vivo* em pesquisas. A abordagem sustentável de reutilização de plásticos descartados não só contribui para a redução de resíduos, mas também oferece uma solução inovadora para a confecção desses fantasmas (Filippou e Tsoumpas, 2018). Um dos principais desafios enfrentados nesta realidade é a reprodução fiel das diferentes tonalidades de pele, especialmente as mais escuras, que são essenciais para testes precisos de dispositivos como o oxímetro.

Para alcançar a variedade necessária de tons de pele, este estudo explora métodos que incluem a adição de pigmentos durante o processo de reciclagem dos plásticos e a aplicação de corante de pó compacto nas peças impressas ou no filamento. Dessa forma, busca-se criar um espectro de tonalidades que permita a realização de estudos mais abrangentes e representativos, sem a necessidade do uso de pele humana real. Neste trabalho, um fantoma de dedo humano, com uma tonalidade específica, foi construído via impressão 3D com material reciclado, sendo analisados os aspectos colorimétrico e de superfície do fantoma, os quais foram comparados com tonalidades e anatomia reais da pele humana.

MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho foi usado um filamento comercial já pigmentado para caracterizar uma tonalidade de pele. O filamento utilizado permite uma avaliação estimada quanto à viabilidade de uso do modelo em filamentos de PET, em função desses materiais apresentarem características similares. A impressora 3D utilizada para a impressão do modelo foi a *Creality (Ender 3)*, presente no Laboratório de Processos de Fabricação do Instituto Federal de São Paulo - Campus Catanduva. Foi utilizado um modelo 3D de dedo *open-source* gratuito disponibilizado por Free3D (2024). No modelo são apresentados os seguintes segmentos estruturais do dedo: falange distal, média e proximal, além de unha. Impressão digital ou outras estruturas não foram mimetizadas.

Foi usada uma imagem RGB tirada com um celular para fazer a aquisição da foto de registro da amostra de dedo impressa em 3D. A função “conta gotas” do *software Microsoft Paint* foi utilizada para obter a coloração da amostra na escala RGB. Posteriormente, através do *website* ASPOSE (2024), a escala RGB foi convertida para a escala CIELAB (também conhecida como espaço de cor $L^*a^*b^*$). O espaço de cor $L^*a^*b^*$ é bastante popular para a medição da cor de objetos e é amplamente utilizado em todos os campos. Neste espaço de cor, o L^* indica a luminosidade e o a^* e b^* as coordenadas de cromaticidade (Conika Minolta, 2024). A Figura 1 ilustra o espaço de cor $L^*a^*b^*$, onde o a^* e o b^* indicam as direções da cor, na forma: $+a^*$ direção do vermelho, $-a^*$ direção do verde, $+b^*$ direção do amarelo, $-b^*$ direção do azul. O centro é acromático e à medida em que os valores de a^* e b^* aumentam e se distanciam do centro a saturação da cor aumenta.

Os parâmetros $L^*a^*b^*$ da escala CIELAB são de grande relevância no cálculo do ângulo de tipologia individual (ITA, do inglês *Individual Typology Angle*), pois servem para avaliar a quantidade de melanina epidérmica. O ITA é uma escala de cor utilizada para quantizar a cor de peles humanas e pode ser estimado através da Eq. (1), sendo então proporcional a concentração de melanina na pele humana (Chardon; Cretois; Hourseau, 1991; Cruz Junior *et al.*, 2023).

$$ITA = \frac{180}{\pi} \tan^{-1} \left(\frac{L^* - 50}{b^*} \right) \quad (1)$$

Segundo Krutmann *et al.* (2023), a classificação de cor de pele usando o ITA ocorre em seis categorias indo de “muito clara” até “negra”, conforme segue: muito clara ($ITA > 55^\circ$); clara ($41^\circ < ITA < 55^\circ$); intermediária ($28^\circ < ITA < 41^\circ$); bronzeada ($10^\circ < ITA < 28^\circ$); morena ($-30^\circ < ITA < 10^\circ$) e; negra ($ITA < -30^\circ$).

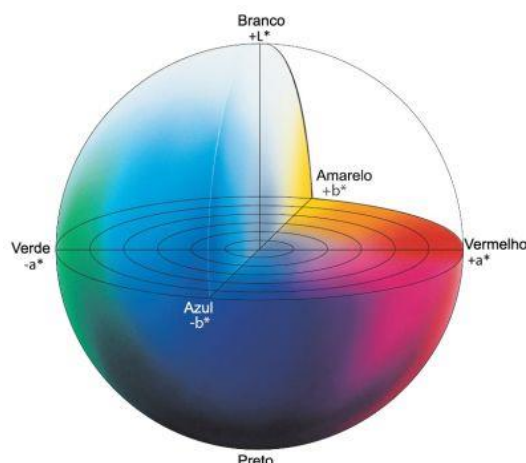


Figura 1. Espaço de cor $L^*a^*b^*$ (Konika Minolta, 2024).

Para fazer a aquisição da estrutura do fantoma do dedo, foi utilizado um aparelho de tomografia de coerência óptica (OCT), da marca Telesto (ThorLabs), com comprimento de onda centrado em 1300 nm. Foi utilizado o modo 2D com sensibilidade máxima de 2 mm. A instrumentação está presente no Grupo de Óptica do Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo de dedo foi deixado no processo de impressão durante o período da noite e recolhido na manhã do dia seguinte. O tempo de impressão foi de 9 horas. A peça saiu inteira e nenhum problema de quebra ou distorção foi percebido. Manter as características da peça original é importante para a integridade do fantoma. A amostra foi impressa com 10 cm de comprimento e 2 cm de diâmetro de base. O modelo 3D e o resultado da impressão são apresentados na Figura 2.

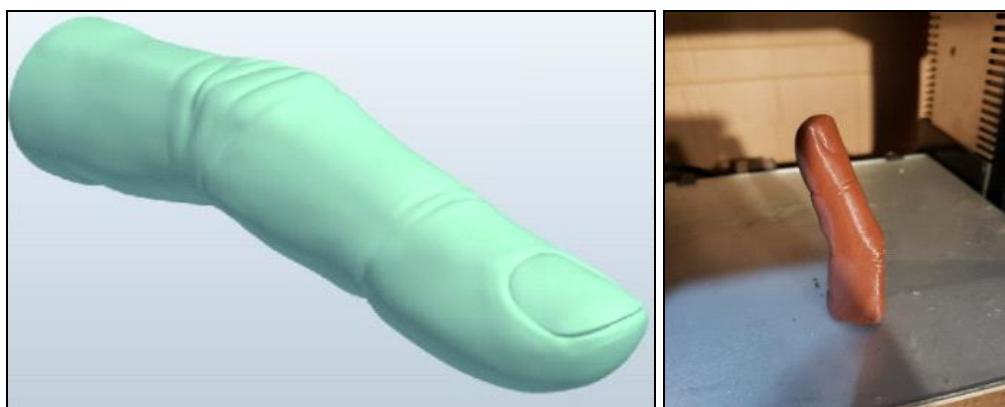


Figura 2. À esquerda - modelo 3D utilizado para impressão; à direita – fantoma do dedo impresso a partir do modelo.

As estruturas anatômicas como unha e falanges foram adequadamente reproduzidas durante a impressão, indicando que o método de impressão 3D para peças com detalhes moderados é adequado. A presença de detalhes abre possibilidades para futuras aplicações no desenvolvimento de modelos ainda mais fiéis a anatomia real humana, podendo ser aplicado também como recurso de ensino em sala de aula por professores de diferentes áreas, como biologia e educação física.

Com as informações de cor, foi realizada a conversão para o espaço de cores CIELAB para a aquisição dos parâmetros L^* , a^* e b^* e para o cálculo do ITA. Na Tabela 1 é apresentada a cor da amostra através da escala de cor RGB, $L^*a^*b^*$, e uma representação visual da cor usando estas escalas de cores.

Tabela 1. Avaliação colorimétrica da amostra usando a escala de cor RGB, CIELAB e sua representação visual.

Cor RGB	Espaço de cor L*a*b*	
R = 185	L* = 57	
G = 122	a* = 18	
B = 87	b* = 24	

Através da Eq. (1) e dos dados experimentais apresentados na Tabela 1, é possível calcular o ITA da amostra. Foi obtido um ITA = 16,2°, representando uma pele de tonalidade “bronzada”.

A Figura 2 apresenta as imagens em profundidade, obtidas a partir de microscopia, de um dedo humano e do fantoma de dedo desenvolvido neste estudo.

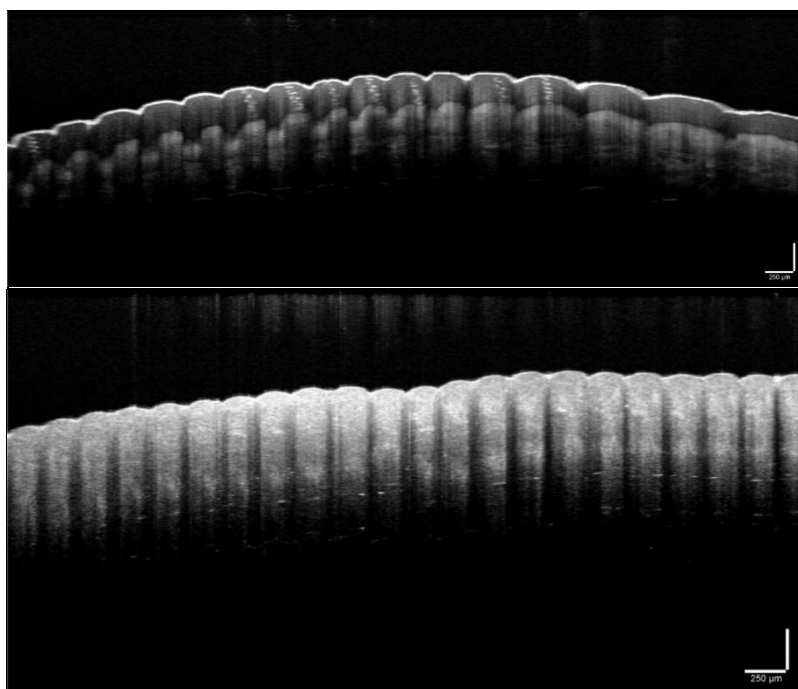


Figura 3. Superior: dedo humano, contendo estrato *cornium*, epiderme, *papilaris dermis*, glândulas de suor e derme. Inferior: dedo impresso em 3D.

Observa-se na Figura 3 que tanto o dedo impresso quanto o dedo humano apresentam as papilaridades superficiais que formam a digital. Entretanto, o dedo impresso indica uma estrutura homogênea enquanto o dedo humano possui todas as estruturas biológicas.

CONCLUSÕES

Os resultados apresentados indicam que a proposta deste estudo exploratório pode possibilitar o desenvolvimento de estruturas anatômicas com representatividade étnica. Foi verificado que a proposta do trabalho pode de fato contribuir para o avanço da ciência médica e para a criação de tecnologias mais inclusivas e eficientes. O material desenvolvido pode ainda ser aplicado para diversas finalidades de pesquisa e ensino, não estando restrito somente as áreas técnicas de ensino.

O presente trabalho constitui-se em um recorte inicial de um projeto de iniciação científica. O uso do filamento comercial para a impressão 3D fornece um panorama de possibilidade de sucesso para o uso de filamentos plásticos reciclados. Como próxima etapa, serão confeccionados filamentos usando garrafas PET para utilização no processo de impressão 3D.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

S.V.S.C. e C.D.F. procederam com os experimentos. L.B.C.JR. possibilitou a metodologia e contribuição com aplicações. P.C.M. atuou com contribuições intelectuais significativas. Todos os autores contribuíram com a revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

AGRADECIMENTOS

Ao programa PIVICT/IFSP e à FAPESP pelo suporte.

REFERÊNCIAS

ASPOSE. **RGB a LAB**. Disponível em: <https://products.aspose.app/svg/pt/color-converter/rgb-to-lab>. Acesso em 04 set. 2024.

CHARDON, A.; CRETOIS, I.; HOURSEAU, C. Skin colour typology and suntanning pathways. **International Journal of Cosmetic Science**, v. 13, n. 4, p. 191-208, 1991.

CONIKA MINOLTA. **Controle de cor da indústria de cuidados pessoais**: medição e análise de cor da pele. Disponível em: <https://sensing.konicaminolta.us/br/blog/controle-de-cor-da-industria-de-cuidados-pessoais-medicao-e-analise-de-cor-da-pele/>. Acesso em 04 set. 2024.

CRUZ JUNIOR, L. B.; GIRASOL, C. E.; COLTRO, P. S.; GUIRRO, R. R. J.; BACHMANN, L. Optical Properties of Human Skin Phototypes and Their Correlation with Individual Angle Typology. **Photobiomodulation, Photomedicine, and Laser Surgery**, v. 41, n. 4, p. 175-181, 2023.

DABROWSKA, A. K.; ROTARU, G. M.; DERLER, S.; SPANO, F.; CAMENZIND, M.; ANNAHEIM, S.; STÄMPLFLI, R.; SCHMID, M.; ROSSI, R. M. Materials used to simulate physical properties of human skin. **Research and Technology**, v. 22, n. 1, p. 3-14, 2016.

FILIPPOU, V.; TSOUMPAS, C. Recent advances on the development of phantoms using 3D printing for imaging with CT, MRI, PET, SPECT, and ultrasound. **Medical Physics**, v. 45, n. 9, e740–e760, 2018.

FREE3D. **Finger Index V1 Modelo 3D**. Disponível em: <https://free3d.com/3d-model/finger-index-v1-331724.html>. Acesso em 04 set. 2024.

KRUTMANN, J.; PIQUERO-CASALS, J.; MORGADO-CARRASCO, D.; GRANGER, C.; TRULLÀS, C.; PASSERON, T.; LIM, H. W. Photoprotection for people with skin of colour: needs and strategies. **British Journal of Dermatology**, v. 00, p. 1-8, 2023.

SJODING, M. W.; DICKSON, R. P.; IWASHYNA, T. J.; GAY, S. E.; VALLEY, T. S. Racial bias in pulse oximetry measurement. **New England Journal of Medicine**, v. 383, n. 25, p. 2477-2478, 2020.