

**IMPRESSÃO DE OSSOS E DE  
ESTRUTURAS ANATÔMICAS EM 3-D  
PARA TRATAMENTO DE FRATURAS EM  
IDOSOS: INOVAÇÃO NO TRATAMENTO  
PARA REABILITAÇÃO.**

Professor orientador: Lincoln Agudo Oliveira Benito

Alunos: Fabrício Werner Brenneke Martins e  
Cassiana Marinho Melo

PROGRAMA DE  
INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
PIC/CEUB

**RELATÓRIOS DE PESQUISA**  
VOLUME 9 Nº 1- JAN/DEZ  
**•2023•**





**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA - CEUB**  
**PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**

**FABRÍCIO WERNER BRENNEKE MARTINS**  
**CASSIANA MARINHO MELO**

**IMPRESSÃO DE OSSOS E DE ESTRUTURAS ANATÔMICAS EM 3-D PARA  
TRATAMENTO DE FRATURAS EM IDOSOS: INOVAÇÃO NO TRATAMENTO  
PARA REABILITAÇÃO.**

Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica apresentado à Assessoria de Pós-Graduação e Pesquisa.

Orientação: Linconl Agudo Oliveira Benito.

**BRASÍLIA**

**2024**

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com a ajuda de diversas pessoas, dentre as quais agradecemos:

Ao nosso orientador, Professor Dr. Lincoln Agudo Oliveira Benito, o qual nos incentivou ao aprofundamento deste tema e apoiou-nos em cada parte dessa trajetória.

À equipe da Faculdade de Engenharia do CEUB que nos auxiliou nos testes de compressão doando seu tempo e disponibilidade.

Ao Veterinário prof. Lucas que sem ele não seria possível a impressão em 3-D da estrutura Fêmur.

Aos nossos pais, pelo amor incondicional, e por sempre nos apoiarem e fazerem de tudo para nossa carreira ser o melhor possível.

À FAP-DF, pelo apoio financeiro e por acreditar no nosso trabalho.

E por fim, queríamos agradecer a nós mesmos por nossa dedicação, nossa força de vontade e por nossa união, que foi imprescindível para a criação e finalização desse projeto.

## RESUMO

A tecnologia das impressoras evoluiu significativamente desde a década de 80, culminando na criação das impressoras 3-D em 1999. Inicialmente usadas na indústria para objetos menores, essas impressoras passaram a fabricar modelos maiores e são amplamente aplicadas em várias áreas, incluindo instituições acadêmicas e a saúde. Na área da saúde, a impressão 3-D é utilizada para criar uma ampla gama de estruturas, como vasos sanguíneos, próteses, e órgãos artificiais, com destaque para a ortopedia na criação de órgãos personalizados, a partir de células-tronco do próprio paciente, permitindo a produção de próteses, que aceleram a regeneração de tecidos, sendo especialmente útil para idosos com osteoporose, oferecendo peças adaptadas que facilitam a recuperação de fraturas e melhoram a qualidade de vida (QV). Determinar se as próteses impressas em 3-D oferecem uma alternativa segura, eficaz e econômica, proporcionando maior precisão e recuperação mais rápida para os pacientes idosos, e reduzindo complicações pós-operatórias. Criação de um protótipo tridimensional educacional de um osso do tipo fêmur, utilizando uma abordagem experimental comparativa, descritiva e quantitativa/qualitativa. O processo envolve a seleção dos materiais a serem escaneados, aquisição de imagens, modelagem 3-D por software, impressão do modelo em uma impressora "GTMAX 3D Core H4" e, testes de durabilidade e resistência. Os resultados foram analisados com base na norma "NBR 5.739/1994", para ensaio à compressão, utilizando uma máquina de modelo "2T.QL-ELETRICA" da AMC, calibrada e certificada. A peça pesa 164 gramas e foi impressa em duas (02) partes, uma maior, com 89 gramas e 21,5 cm de comprimento, e uma menor, com 75 gramas e 20,1 cm de comprimento. No primeiro teste, a parte menor suportou 1.490 kgf por 8 minutos e 55 segundos, apresentando apenas um pequeno rompimento na base, sem deformações adicionais. No segundo teste, a parte maior suportou 1.500 kgf por 7 minutos e 13 segundos sem sofrer danos significativos. Os testes de resistência das peças demonstraram uma capacidade de suportar forças aplicadas, destacando a qualidade e durabilidade do material. Pequenos rompimentos e deformações ocorreram apenas sob condições extremas, reforçando a robustez do material e sua aptidão para aplicações que exigem alta resistência.

**Palavras-chave:** Fêmur; Idosos; Impressora 3-D.

## ABSTRACT

### **3-D PRINTING OF BONES AND ANATOMICAL STRUCTURES FOR TREATMENT OF FRACTURES IN ELDERLY PEOPLE: INNOVATION IN REHABILITATION TREATMENT.**

Printer technology has evolved significantly since the 1980s, culminating in the creation of 3-D printers in 1999. Initially used in industry for smaller objects, these printers have since been used to manufacture larger models and are widely applied in several areas, including academic institutions and healthcare. In healthcare, 3-D printing is used to create a wide range of structures, such as blood vessels, prostheses, and artificial organs, with emphasis on orthopedics in the creation of customized organs from the patient's own stem cells, allowing the production of prostheses that accelerate tissue regeneration, being especially useful for elderly patients with osteoporosis, offering adapted parts that facilitate fracture recovery and improve quality of life (QoL). To determine whether 3-D printed prostheses offer a safe, effective, and economical alternative, providing greater precision and faster recovery for elderly patients, and reducing postoperative complications. Creation of an educational three-dimensional prototype of a femur bone, using a comparative, descriptive and quantitative/qualitative experimental approach. The process involves the selection of materials to be scanned, image acquisition, 3-D modeling by software, printing of the model on a "GTMAX 3D Core H4" printer, and durability and resistance tests. The results were analyzed based on the "NBR 5.739/1994" standard, for compression testing, using a calibrated and certified "2T.QL-ELETRICA" model machine from AMC. The part weighs 164 grams and was printed in two (02) parts, a larger one, with 89 grams and 21.5 cm long, and a smaller one, with 75 grams and 20.1 cm long. In the first test, the smaller part supported 1,490 kgf for 8 minutes and 55 seconds, presenting only a small rupture at the base, without additional deformations. In the second test, the larger part withstood 1,500 kgf for 7 minutes and 13 seconds without suffering significant damage. The resistance tests of the parts demonstrated an ability to withstand applied forces, highlighting the quality and durability of the material. Small breaks and deformations occurred only under extreme conditions, reinforcing the robustness of the material and its suitability for applications that require high resistance.

**Key-words:** Femur; Elderly; 3D Printer.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
OBJETIVOS	11
2. FUNDAMENTA TEÓRICA	11
3. MÉTODO	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	25
6. REFERÊNCIAS	27
<b>APÊNDICE A - Comprovante da Mensagem eletrônica encaminhada pela Comissão Organizadora do IV Encontro Internacional de Inovação em Saúde, II Feira de Inovação Tecnológica do Distrito Federal (IV INOVATEC), sobre a publicação do Resumo do trabalho apresentado no BOOK ABSTRACT do Congresso no Journal of Global Innovation (JGI) da Bioprospectum do Parque Tecnológico do Porto (Portugal), volume 5, Issue1, 2024</b>	<b>29</b>
<b>APÊNDICE B - Primeiro artigo publicado na forma de Editorial, do projeto de pesquisa de iniciação científica, possuidora do título “Proposta de impressão em 3-D do osso fêmur de pessoas idosas vitimadas de fratura: Considerações preliminares”</b>	<b>32</b>
<b>APÊNDICE C - Comprovante de aceite de resumo submetido para o 26º Congresso Brasileiro dos Conselhos de Enfermagem (26º CBCENF)</b>	<b>45</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, a tecnologia tem progredido de maneira notável, e aprimorar às impressoras para que sejam mais rápidas e eficientes, tem sido uma das áreas mais promissoras dessa evolução. O aprimoramento das impressoras começou na década de 80 e início dos anos 90, quando foram desenvolvidas máquinas capazes de imprimir com mais agilidade e qualidade do que as anteriores (FILHO, 2015). Historicamente, as impressoras progrediram consideravelmente até à impressora 3-D presente. A primeira foi criada em 1938 com a finalidade de reproduzir imagens e textos por meio de fotocópias. No entanto, apenas em 1953 que ocorreu uma melhoria na velocidade das máquinas, apesar disso, suas impressões ainda eram de baixa qualidade (BAIÃO, 2012).

Em 1983, surgiram as impressoras a laser, que ultrapassaram as impressoras de tintas, as quais deixavam as impressões molhadas e escorrendo. A qualidade das impressoras a laser, eram consideradas excelentes. No ano de 1985, houve um avanço na produção das impressoras de tinta, em decorrência dessa evolução, surgiram em 1999 os primeiros protótipos de impressoras 3D que esculpam o material desejado, possibilitando a impressão em diversas cores, escavavam e poliam o material esperado, a partir de um programa que definia a construção do objeto com os principais materiais disponíveis na época, como plástico, madeira, cerâmica e metal (BAIÃO, 2012).

Considerando que, inicialmente, as impressoras 3-D eram empregadas nas indústrias para a fabricação de objetos menores e formas geométricas, essa tecnologia foi aprimorada ao ponto de permitir a impressão de modelos de grandes dimensões, incluindo proporções de carros ou até mesmo do tamanho de fornos elétricos (FILHO, 2015). Além de ser amplamente utilizada nas empresas, suas funcionalidades também oferecem diversos benefícios em vários setores, incluindo instituições acadêmicas (FILHO, 2015).

Entre as diversas áreas que a impressão 3D tem sido aplicada, podemos destacar a área da saúde, onde ainda está em constante modificações e aprimoramentos, na neurologia, por exemplo, essa tecnologia tem sido amplamente empregada, visto que o cérebro é um órgão de difícil acesso (FILHO, 2015). Por meio de tomografias e

ressonâncias, os médicos conseguem obter informações precisas para diagnosticar patologias com mais facilidade (FILHO, 2015).

Além de sua aplicação na neurologia, a impressão 3D desempenha um papel fundamental na medicina, pois permite a fabricação de uma ampla variedade de estruturas, como vasos sanguíneos, orelhas, peles sintéticas, moldes dentários, redes vasculares, próteses, implantes, estruturas ósseas, tecidos e órgãos artificiais, bem como implantes personalizados para substituir partes do corpo que foram perdidas ou danificadas (CARREIRA, *et al.* 2022). De acordo com algumas pesquisas, a impressão 3D tem um grande potencial para revolucionar a ortopedia, possibilitando a impressão de estruturas ósseas projetadas com maior proximidade à porosidade interconectada e química controlada, sendo capaz de formar um tecido ósseo dependente de vascularização, onde tem a capacidade de promover a diferenciação osteogênica das células tronco resultando em uma composição resistente e funcional para o paciente (CARREIRA *et al.*, 2022).

Tem sido dedicado esforço para buscar maneiras de melhorar a saúde da população, considerando a grande demanda da sociedade por transplante de órgãos e tratamentos de fraturas (BRAGA *et al.*, 2023). Nesse sentido, muito tem sido estudado acerca das possibilidades da criação de órgãos através da impressão 3D, utilizando-se das células tronco do próprio indivíduo (BRAGA *et al.*, 2023). No caso da criação de órgãos, as células tronco do próprio paciente são utilizadas como matéria-prima para produzir um órgão personalizado, com menos riscos de rejeição, estas células não especializadas são combinadas com fragmentos do órgão para ser impresso, essa mistura é então colocada em um molde no formato do tecido esperado, permitindo que ocorra um processo natural de reprodução. O fragmento de tecido guia que está presente na mistura serve como uma referência para desenvolver o órgão em questão (BRAGA *et al.*, 2023).

Para realizar a impressão de uma estrutura anatômica do paciente, são empregados diferentes métodos, dentre eles o ultrassom, permitindo que os médicos obtenham informações mais precisas sobre as características dos órgãos do indivíduo sem precisar extraí-los para examiná-los, podendo assim analisar as informações que são utilizadas para programar a impressora, definindo o tipo de técnica de impressão

que será utilizada, como impressão por meio de jato, dispensador ou biotipagem de células (GUIMARÃES, 2016). Para começar a construir o órgão, é necessário ter um modelo computadorizado, esse modelo é criado a partir de várias informações, como a estrutura histológica, anatômica e composição do órgão, com isso os médicos podem definir a localização onde cada célula irá ficar, garantindo que a impressão seja eficiente (GUIMARÃES, 2016) .

## **OBJETIVOS**

O objetivo deste projeto de pesquisa é analisar a viabilidade da utilização da tecnologia de impressão 3-D para a produção de próteses ósseas personalizadas, especialmente para pacientes idosos que sofrem de fraturas de fêmur. A ideia é escanear um osso humano e um osso sintético para criar um modelo preciso, que será utilizado para imprimir uma prótese em uma impressora 3D. O objetivo é avaliar se a prótese oferece resistência e durabilidade suficientes para ser implantada em um paciente idoso, com o intuito de reduzir problemas pós-cirúrgicos.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

As próteses desenvolvidas apresentam um grande potencial para a população, aumentando a velocidade da regeneração do tecido em até 40%, tendo em vista que isso ocorre porque a impressora é capaz de reproduzir e construir com precisão vasos sanguíneos, redes vasculares e outras estruturas anatômicas (BRAGA, *et al.* 2023).

Com o avanço da tecnologia da impressora 3D, os pesquisadores separam uma fonte celular específica que passa por um processo de diferenciação, a partir do qual é criada uma simulação no computador para modelar o tecido. Com uma biotinta, começam as impressões da estrutura pensada, levando em conta a análise dos fatores de crescimento das células (BARROSO, 2019). Essa inovação tem atraído muitos investimentos, pois permitem potencializar a melhor customização de seus produtos com uma economia entre 25 a 60% (BARROSO, 2019).

A impressão 3D possui uma grande importância para uma grande parcela da população, entretanto dando um enfoque para a população idosa que tem uma grande incidência de fraturas, principalmente no fêmur, em decorrência da osteoporose, também podendo ser causada por meio de quedas (MACEDO *et al.*, 2019).

A osteoporose em idosos é uma afecção clínica multifatorial, que envolve uma complexa interação entre fatores bioquímicos e fisiológicos, ocorrendo assim a perda progressiva da massa óssea, típica dessa condição, promove alterações na arquitetura óssea, com comprometimento da resistência e da elasticidade óssea (SOARES, et al. 2019). Tal instabilidade estrutural do osso aumenta significativamente o risco de fraturas em idosos, que já apresentam um perfil de fragilidade óssea relacionado à idade e a fatores hormonais e nutricionais (SOARES *et al.*, 2019).

As fraturas podem ser graves dependendo da idade, pois possuem uma probabilidade alta de mortalidade e morbidade, onde muitos destes idosos podem perder sua independência e sua qualidade de vida, pois se necessitar de cirurgia, pode acabar sendo difícil e prolongada podendo assim causar uma infecção, mesmo a cirurgia ocorrendo de forma correta, o gasto na internação prolongada e da fisioterapia acaba sendo muito alta podendo afetar a qualidade de vida do idoso (MACEDO *et al.*, 2019).

Sendo assim a impressora 3D consegue ser uma ferramenta que permite uma criação de peças únicas e adaptadas para a necessidade de cada paciente, podendo assim fazer a substituição de fêmur, produzir dispositivos de fixação de fraturas, parafusos personalizados para as especificidades de cada fratura, resultando em um tempo de recuperação mais rápido e menos doloroso para o indivíduo (VARELA, 2022).

### **3.MÉTODO**

Trata-se de uma pesquisa classificada enquanto experimental, comparativa, descritiva e de abordagem quantitativa e qualitativa, que se propõe realizar um protótipo impresso no formato tridimensional (3-D) próteses de estruturas corporais ósseas para fins educacionais. Por entender que será utilizado para esse experimento um osso humano, e também, um similar no processo comparativo, será encaminhado para o “Comitê de Ética e Pesquisa (CEP)” do “Centro Universitário de Brasília (CEUB)”, um projeto de pesquisa, objetivando realizar análise e tratamento bioético do presente estudo.

Nesse sentido, é entendido que serão respeitados os dispositivos expostos junto a Resolução de número 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde (CNS), relacionada as “Diretrizes e normas regulamentadoras em pesquisas utilizando seres humanos”. Após recepção do aceite e liberação do Comitê de Ética e Pesquisa (CEP) do Centro Universitário de Brasília (CEUB), se procederá a realização da pesquisa, tendo enquanto etapas constitutivas (1) Seleção dos materiais para serem escaneados, (2) Aquisição da(s) imagem(s) dos objetos a serem impressos no formato 3-D, (3) Processo de modelagem com ferramenta de software 3-D, (4) Configuração e impressão em 3-D do modelo (protótipo), (5) Testes de durabilidade, resistência e compatibilidade, (6) Descrição dos processos da técnica implementada, (6) Análise dos dados e, (7) Redação do artigo científico.

Objetivando realizar o processo de captura da imagem e posterior digitalização da estrutura óssea femoral, será utilizado um Scanner manual da marca Sense® 3-D, que possui em suas capacidades, mas dimensões de “17.8cm x 12.9cm x 3.3cm”, campo de visão “horizontal: 45°, vertical: 54.7° e diagonal: 69°” e temperatura de operação de “10-40°”. Em relação ao Scanner manual da marca Sense® 3-D, sua faixa de operação é de “Min 0.35m / Max 3m”, sua Espacial x/y resolução @ 0.5m é de “0,9mm”, e o seu volume de escaneamento é de “Min: 0.2 x 0.2 x 0.2m / Min: 0.2 x 0.2 x 0.2m”.

Ainda em relação ao Scanner manual da marca Sense® 3-D, o tamanho da profundidade da imagem é de “240(L) x 320(A) px”, a profundidade de res. @ 0.5mm é de “1mm” e o tamanho da imagem a cores é de “240 (L) x 320(A) px”. Posterior a esse processo e, objetivando potencializar o processo de “fatiamento”, ou seja, cortes da imagem escaneada, para proporcionar a melhor impressão da estrutura óssea no formato tridimensional, será utilizado o software “CURA Ultimaker®”, em sua versão de número “4.6”, for “Windows®”.

Nesse contexto, o software “CURA Ultimaker® em sua versão de número 5.3.0”, possui a capacidade de transformar um determinado modelo 3-D, na forma de camadas que, quando às mesmas, se encontram sobrepostas, permitem a transformação de um determinado objeto que será posteriormente impresso. Desta forma, o software “CURA Ultimaker®”, é um dos mais utilizados em todo o mundo para o processo de fatiamento

da imagem que posteriormente será impressa em 3-D, sendo desenvolvido pelo Dr. David Braam, enquanto importante ferramenta para esse complexo processo.

Para o processo de impressão tridimensional, será utilizada uma impressora da marca "GTMAX 3D Core H4 Cor Black 110v/220v com tecnologia de impressão FDM", existente junto ao "Espaço Institucional HUB de Inovação" do Centro Universitário de Brasília (CEUB). Essa impressora possui enquanto Resolução mínima da capa / Resolução máxima da capa "0.4 mm - 0.05 mm", e dimensões de "Comprimento da impressora 3D: 510 mm, Largura da impressora 3D: 490mm e Alto da impressora 3D: 745 mm".

Para fins interpretativos e metodológicos, a tecnologia do tipo "*Fused Deposition Modeling*" (FDM), desenvolve suas atividades, por meio de impressoras do tipo 3-D, classificadas enquanto, especializadas, e também, termoplásticas de grau de produção, objetivando desenvolver a construção de peças mais fortes, duráveis, além de dimensionalmente mais estáveis e, com precisão mais apurada.

Serão utilizados no processo de busca bibliográfica eletrônica junto as bases de dados eletrônicas os Descritores em Ciências da Saúde (DeCS) da Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), sendo eles "Acidentes por Quedas" com o Identificador DeCS "19050" e o ID do descritor "D000058", "Enfermagem em Ortopedia e Traumatologia" com o Identificador DeCS "59454" e o ID do descritor "D000084826", "Fraturas do Fêmur" com o Identificador DeCS "5368" e o ID do descritor "D005264", "Fraturas Ósseas" com o Identificador DeCS "50518" e o ID do descritor "D050723", "Fraturas do Quadril" com o Identificador DeCS "6778" e o ID do descritor "D006620", "Idoso" com o Identificador DeCS "20174" e o ID do descritor "D000368", "Impressão Tridimensional" com o Identificador DeCS "55768" e o ID do descritor "D066330", "Ortopedia" com o Identificador DeCS "10162" e o ID do descritor "D009985", "Osso e Ossos" com o Identificador DeCS "1867" e o ID do descritor "D001842", "Procedimentos Ortopédicos" com o Identificador DeCS "33575" e o ID do descritor "D019637", "Reabilitação" com o Identificador DeCS "12467" e o ID do descritor "D012046", "Resistência à Flexão" com o Identificador DeCS "57598" e o ID do descritor "D000077298", "Traumatologia" com o Identificador DeCS "19369" e o ID do descritor "D014194".

Para o processo de associação e conjugação dos descritores selecionados, foram utilizados os operadores lógicos booleanos de pesquisa “and”, “or” e “not”, conforme estratégia proposta pela “*Ebsco Connect. Discovery & Search*”, presente em seu portal eletrônico [<https://connect.ebsco.com/>].

Após a impressão da estrutura óssea no formato tridimensional, será implementado teste do tipo ensaio, utilizando uma “prensa de compressão simples”, existente no Laboratório de Ciências da Saúde (LABOCIEN), com sede no bloco 10 do CEUB, conforme proposto e, respeitando às orientações e diretrizes expostas junto a “NBR 5.739/1994”, relacionada às “Disposições de Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos”, proposta é sustentada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).<sup>1</sup>

Nesse contexto analítico e metodológico, a referida “NBR 5.739/1994”, sustenta que a prescrição do método pelo qual, devem ser ensaiados à compressão dos corpos-de-prova cilíndricos de concreto, moldados conforme a NBR 5738 e extraídos conforme “NBR 7.680”.<sup>1</sup> É de suma importância lembrar e esclarecer ainda que, na aplicação desta Norma, é necessário consultar a NBR 5.738 de “Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto - Método de ensaio”, a NBR 6.156 relacionada à “Máquina de ensaio de tração e compressão - Verificação - Método de ensaio”, a NBR 7.680 relacionada a “Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto – Procedimento, e a NBR 9.479 relacionada às “Câmaras úmidas para cura de corpos-de-prova de cimento e concreto – Especificação”.

"Um dos objetivos deste ensaio, embora aplicado a estruturas de concreto até a compressão e resistência máxima antes da ruptura, é utilizar a mesma metodologia aplicada ao corpo de prova, no caso, a estrutura óssea e avaliar a resistência da peça, com vistas a testes que podem ser aplicados a peças como próteses que irão suportar com segurança o peso de pacientes."

É importante destacar que a presente iniciativa só foi possível graças à importante parceria desenvolvida pela Faculdade de Enfermagem pertencente à Faculdade de Ciências e Educação em Saúde (FACES), junto com as Faculdades de

Engenharia, integrantes da Faculdade de Tecnologia e Ciências Aplicadas (FATECS) do Centro Universitário de Brasília (CEUB).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na imagem de número um (01), é apresentada a etapa de realização do preparo e do exame de tomografia computadorizada (TC) do osso fêmur, objetivando captar a sua imagem, enquanto forma de estudo e entendimento de sua morfologia. É importante destacar que, nessa etapa integrativa da presente pesquisa, todas as medidas protetivas foram tomadas e respeitadas, sendo que todos os participantes, estavam utilizando equipamentos de proteção individual (EPI), objetivando prevenir algum tipo de acidente, ou também, fragilização da presente pesquisa.

**Imagem 01** – Apresentação por meio fotográfico do preparo da realização do exame de tomografia computadorizada (TC) para digitalização da estrutura óssea:



**Fonte:** Imagem dos autores, 2024.

Após o processo de aquisição da imagem do osso fêmur por meio da implementação do exame de TC, se procedeu a segunda etapa, sendo ela a de digitalização da imagem. Nesse sentido, é apresentada na imagem de número dois (02), às imagens geradas nesse processo, sendo respeitados os acidentes anatômicos constituintes e integrantes do osso fêmur tomografado.

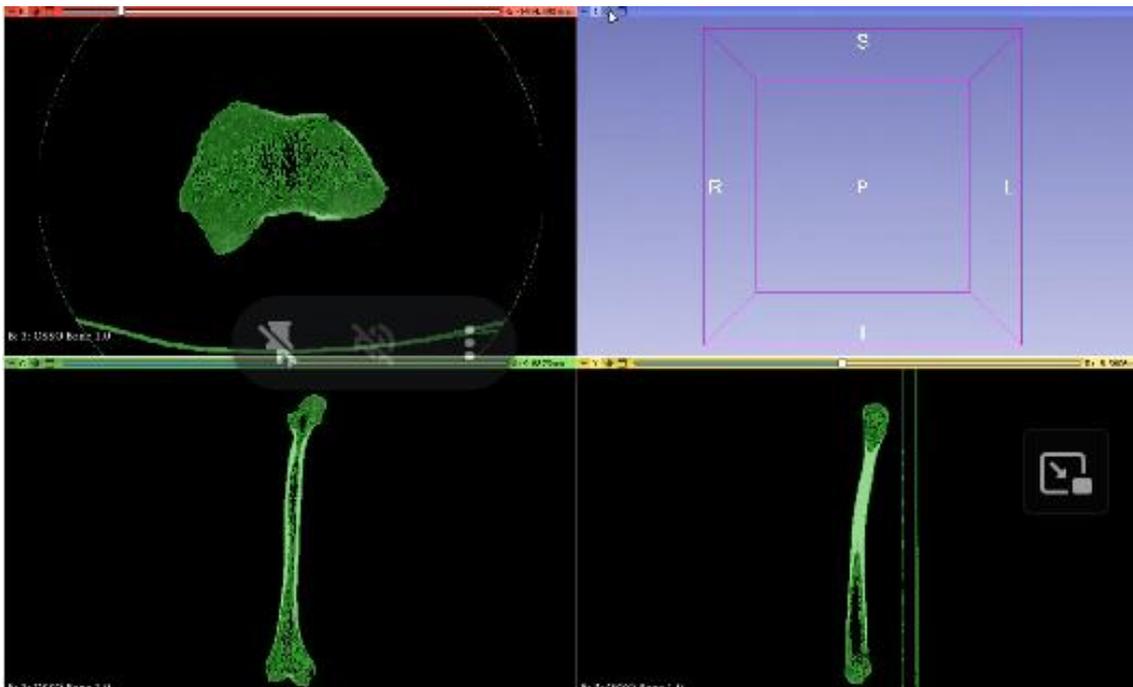
**Imagem 02** – Imagens geradas digitalmente do osso fêmur, após realização do exame de tomografia computadorizada (TC):



**Fonte:** Autores, 2024.

Já na imagem de número três (03), é possível verificar em outros ângulos, a constituição anatômica do osso fêmur, submetido a realização do exame de TC, bem como, a necessidade de modelação desta peça, objetivando melhor realizar a impressão da mesma, no formato 3-D. Desta forma, esse processo também contou com a participação e orientação de professores da Faculdade de Engenharia do Centro Universitário de Brasília (CEUB), apontando e sugerindo ações e procedimentos que facilitasse a conclusão desta etapa integrante.

**Imagem 03** – Imagens geradas digitalmente do osso fêmur, após realização do exame de tomografia computadorizada (TC):



**Fonte:** Imagem dos autores, 2024.

Na imagem de número quatro (04), é apresentada uma nova idealização digital da futura impressão do osso fêmur no formato 3-D, objetivando desenvolver de melhor forma e qualidade o seu planejamento. Nessa imagem gerada digitalmente, também é possível ser verificada de forma mais eficiente e efetiva, os acidentes anatômicos existentes na peça óssea tomografada e que, foram integralmente preservados na representação gerada.

É importante destacar que, esse importante processo de planejamento para a posterior impressão de estruturas ósseas humanas e não-humanas, é amplamente utilizado por profissionais de várias áreas do conhecimento científico, como é o caso de profissionais médicos, cirurgiões, médicos veterinários, zootecnistas, dentre muitos outros. Também é proposto por vários pesquisadores e especialistas nesse assunto que, a impressão em 3-D, também é utilizada, na área da saúde, enquanto forma de desenvolvimento de modelos, anteriormente a realização de procedimentos cirúrgicos operatórios, por exemplo, os ortopédicos.



Na imagem de número seis (06) é apresentado o processo de impressão do fêmur em suas etapas integrantes, sendo importante destacar que, por conta do tamanho da impressora 3-D em relação a estrutura óssea, foi preferida a realização desse processo em duas etapas. Nesse contexto, o corpo de prova foi impresso em três (3) peças, ou seja, macho e fêmea, ligados por uma terceira.

**Imagem 06** – Apresentação das etapas do processo de impressão 3-D do osso natural:



**Fonte:** Imagem dos autores, 2024.

Na imagem de número sete (7), é apresentada a prensa hidráulica utilizada para a realização da etapa de teste resistência a pressão por peso. Esse teste, se constitui enquanto etapa onde, será verificado quanto o corpo de prova consegue suportar de peso que lhe é atribuído, sendo esperado que a peça impressa, venha sofrer deformação, quebra ou ainda, outro tipo de modificação de sua composição.

Em relação ao instrumento utilizado para realização do teste de resistência ao peso, trata-se de uma prensa hidráulica elétrica, possuidora de capacidade de “100 tf”, apresentando em seu corpo um “sistema de indicação digital” com cinco (05) dígitos e resolução de “1kgf”, além das funções de “pico máximo” e a “tara para a carga”. Ainda em relação a prensa hidráulica utilizada, é importante defender que a mesma, aplicação junto ao corpo de prova testado, de carga contínua por meio da utilização de duas (2)

válvulas reguladoras para incremento e decréto de carga, sendo que este é um sistema ajustável de altura do prato superior (através do fuso).

No que se refere a máquina utilizada, a mesma é do modelo “2T.QL-Eletrica”, de identificação (Tag) “2TQL-E23”, fabricante “AMC”, possuindo enquanto última data de calibração “10/06/2023”, “data de emissão do certificado “14/06/2023” e com data de validade de “06/2024”. Em relação a técnica utilizada, foi utilizado o teste do tipo “rompimento a compressão”, também conhecido enquanto, “rompimento de corpo de prova”, sendo que ele é o ensaio técnico utilizado para determinar a resistência à compressão de um material.

**Imagem 07** – Imagem da prensa hidráulica utilizada para realização do teste de resistência do corpo de prova impresso em 3-D:



**Fonte:** Imagem dos autores, 2024.

Em relação a este teste, o mesmo está relacionado a atividade, em que, uma amostra é submetida a forças compressivas controladas até o ponto de surgimento de uma falha. Nessa etapa, também é importante ser destacado que, todas as pessoas integrantes direta e indiretamente deste experimento, se encontravam utilizando EPIs, respeitando as normas atualmente em vigência.

Dentre os participantes deste experimento, é importante destacar a presença do orientador do respectivo projeto de iniciação científica, bem como, técnicos do laboratório de engenharia de materiais, objetivando potencializar o processo que estava em desenvolvimento. Na imagem de número oito (08), é apresentado o corpo de prova impresso em 3-D, posicionado junto a prensa, para a realização da prova de resistência a peso, onde por conta do tamanho do corpo de prova, o mesmo teve que ser posicionado com uma das peças, objetivando facilitar a implementação de seu exame.

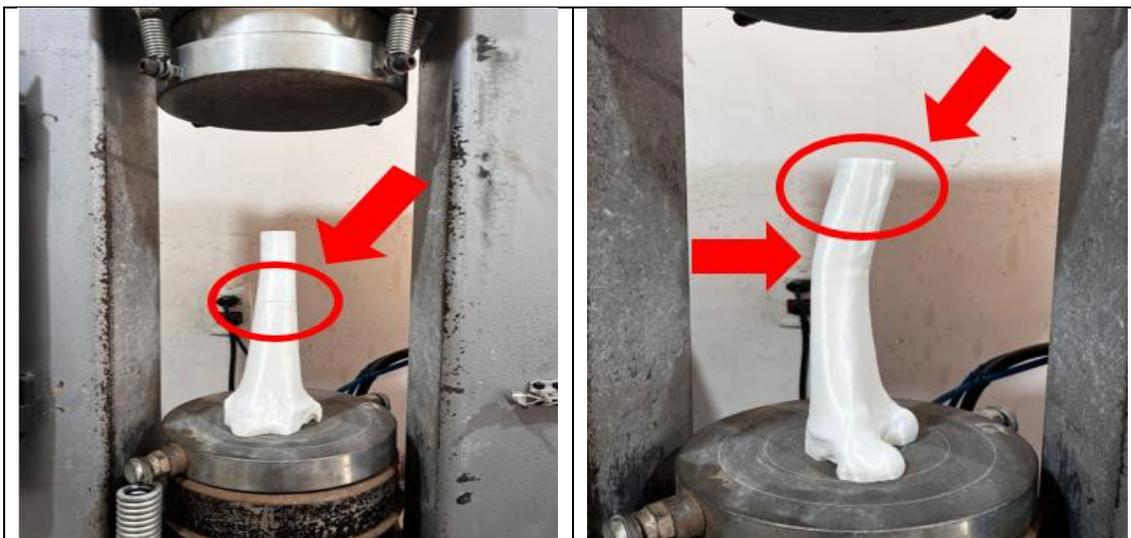
**Imagem 08** – Apresentação do corpo de prova impresso no formato 3-D junto a prensa para realização do teste de resistência e início do processo de compressão:



**Fonte:** Imagem dos autores, 2024.

Na imagem de número nove (09), são apresentadas às modificações geradas, junto ao corpo de prova impresso em 3-D, objetivando comprovar a sua resistência a prova de peso imputado diretamente em seu corpo constituinte. Nesse contexto, são apontadas na imagem parada, as localidades que sofreram as maiores reações visivelmente percebidas, por conta da realização do exame implementado.

**Imagem 09** – Apresentação das modificações apresentadas junto ao corpo de prova impresso no formato 3-D, e submetido a realização do teste de resistência e compressão:



Fonte: Imagem dos autores, 2024.

No que se refere ao peso do corpo de prova testado, o mesmo possuía 164 g enquanto peça inteira, sendo que a sua maior parte possuía 89 g e a parte menor 75 g, conforme apresentado na tabela abaixo. Já em relação ao seu tamanho/comprimento, peça inteira possuía 41,6 cm, sendo que a peça maior possuía 21,5 cm e a peça menor 20,1 cm.

**Tabela 01** - Peso e tamanho/comprimento do corpo de prova/osso fêmur impresso no formato 3-D:

Peso (g)	
Peça inteira:	164 g
Parte maior:	89 g
Parte menor:	75 g
Tamanho/comprimento (cm)	
Peça Inteira:	41,6 cm
Peça Maior:	21,5 cm
Peça Menor:	20,1 cm

Fonte: Autores, 2024.

No que se refere a carga/peso suportada pelo corpo de prova testado, foi possível verificar que, no primeiro (1°) teste, a peça “menor”, possuidora de 20,1 cm, suportou o equivalente a 1.490 kgf, enquanto que no segundo (2°) teste, a peça “maior”

possuidora de 21,5 cm, conseguiu suportar o equivalente a 1.500 kgf, conforme exposto junto a tabela de número 02. No terceiro (3°) teste, foi verificado que a peça “maior”, possuidora de 21,5 cm conseguiu suportar o quantitativo de 1.560 kgf.

**Tabela 02** – Apresentação dos testes realizados com o corpo de prova impresso no formato 3-D, por tamanho (cm) e carga suportada (kgf):

Carga/peso			
Teste	Peça	Tamanho (cm)	Carga suportada (kgf)
Primeiro	Menor	20,1 cm	1.490 kgf
Segundo	Maior	21,5 cm	1.500 kgf
Terceiro	Maior	21,5 cm	1.560 kgf

**Fonte:** Autores, 2024.

No que se refere ao tempo médio de resistência da primeira peça, o mesmo registrou uma duração de 8 minutos e 55 segundos (8min 55s), numa força de 1.490 kgf e o segundo teste, ocorreu em 7 minutos e 13 segundos (7min 13s), uma força de 1.500 kgf. Já no que se refere ao terceiro (3°) teste, o mesmo foi concluído com o tempo médio de 2 minutos e 33 segundos (2min 33s) e, com força aplicada de 1.560 kgf, respectivamente.

Em contraste, durante o teste em 2 minutos e 24 segundos, houve uma ruptura na parte superior da peça seguida por sua deformação, sem ocorrência adicional de lascas ou outras rupturas. Desta forma e, tendo enquanto base o teste realizado, foi possível verificar que, as fragilidades identificadas durante à sua verificação de resistência à compressão, apontaram a capacidade de suportar as forças aplicadas revelou-se notável.

Esse resultado evidenciou a qualidade e a durabilidade do material utilizado, tornando assim, a identificação de possíveis fragilidades uma tarefa mais complexa.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS (OU CONCLUSÕES):

Por meio da realização da presente pesquisa, foi possível verificar que a impressão em 3-D, se constitui enquanto uma técnica promissora para futuros procedimentos em saúde que, após serem aperfeiçoados, se constituirão enquanto importantes técnicas para o desenvolvimento de procedimentos em saúde, como por exemplo, de substituição de estruturas corporais humanas e veterinárias. Por meio da realização da presente pesquisa, foi possível verificar a importância da impressão em três dimensões (3-D), enquanto importante técnica atualmente utilizada em vários campos do conhecimento e, áreas de produção e inovação científico-intelectual.

Apesar da presente pesquisa possuir limitações no que se refere a várias questões, como por exemplo, a utilização de material de menor valor financeiro para a sua aquisição, o tamanho da impressora em 3-D ser reduzido, dentre outras, os objetivos propostos foram superados integralmente. Um outro ponto que merece menção, é em relação ao material utilizado que, é incompatível para a utilização em seres humanos, por conta de sua biocompatibilidade, por conta de desenvolver rejeição.

Nesse contexto e, tendo como base os experimentos realizados na presente iniciação científica, outros testes de resistência do filamento utilizado para a impressão 3-D devem ser realizados, objetivando verificar a sua eficiência e eficácia em outras condições, como por exemplo, a temperaturas, a substâncias químicas, dentre muitos outros. Desta forma, a necessidade de desenvolvimento para futura utilização em seres vivos, por exemplo, e animais não-humanos e animais humanos, de um filamento para impressão em 3-D, que seja totalmente compatível e não gere rejeição, necessita de estudos e pesquisas para o seu desenvolvimento.

Uma outra questão que pode inviabilizar a realização desta importante e inovadora técnica, é ainda na contemporaneidade, o seu elevado valor financeiro para aquisição de subsídios, instrumentos para a sua realização e manutenção. Por ser um conjunto de técnicas e procedimentos relativamente recente e, reduzidamente difundida dentre às instituições de ensino superior (IES) como um todo, profissionais de

bio-saúde e de engenharia-médica, é percebida a necessidade de um maior incentivo para a sua utilização, processamento e avanço de forma efetiva e eficiente.

Desta forma, é percebida a necessidade de uma maior incentivo e financiamento de pesquisas que venham estudar e analisar às várias áreas de utilização desta futura modalidade de atuação em saúde, visando o cuidado, o tratamento, e a reabilitação de pessoas em todas às suas faixas etárias e períodos existenciais. A busca de novas técnicas, procedimentos, equipamentos e medicamentos, se constitui enquanto uma prioridade, no sentido de melhor oferecer condições de saúde, de qualidade de vida, de ampliação da longevidade a todas os seres vivos, independentemente de sua condição financeira ou status social.

## REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5739. Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. 1994. 4.p. Disponível em: [\[https://www.normas.com.br/autorizar/visualizacao-nbr/1939/identificar/visitante\]](https://www.normas.com.br/autorizar/visualizacao-nbr/1939/identificar/visitante) . Acesso em: 05 maio 2023.

BAIÃO, Francisco José. FUNCIONALIDADES E TECNOLOGIAS DA IMPRESSORA 3D, 2012. Disponível em: <https://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/2347.pdf> . Acesso em: 27 Mar. 2023.

BARROSO, Willian Fernando nd (UNESP), Universidade Estadual Paulista. Proposta de viabilidade técnica-econômica para bioimpressão 3D auxiliada por manipulador robótico. 2019. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/190728>. Acesso em: 16 Apr. 2023.

CARDOSO, Gabriela Camargo; DE LIMA TAVARES, Kiella; DE LIMA TAVARES, Kiarah; et al. Impressão 3D: um futuro promissor para a medicina. Revista Thêma et Scientia, vol. 11, no. 1E, p. 204–210, 2021. Disponível em: <http://ojsrevistas.fag.edu.br/index.php/RTES/article/view/1256>. Acesso em: 27 Mar. 2023.

CARREIRA, Ariane da Silva; MANSO, Diego Gonçalves dos Santos and MONTEIRO, Guilherme Granadeiro. A UTILIZAÇÃO E APLICAÇÃO DA IMPRESSORA 3D NA ÁREA DE SAÚDE. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, vol. 8, no. 9, p. 340–354, 2022. Disponível em: <https://www.periodicorease.pro.br/rease/article/view/6896>. Acesso em: 27 Mar. 2023.

CHAVES, Léo Ramos. O avanço da impressão 3D. 2020. Disponível em: <http://repositorio.eesc.usp.br/handle/RIEESC/7667> . Acesso em: 27 Mar. 2023.

DE JESUS BRAGA, Ericson; ANDRÉ LISBOA, Jorge; VITOR FELIX CAIXETA, José; et al. O USO DA IMPRESSÃO 3D NA MEDICINA. In: Tecnologias e Metodologias Ativas: a interdisciplinaridade tecnológica em pesquisa. [s.l.]: Editora Científica Digital, 2023, vol. 1, p. 136–146.

EBSCO CONNECT. Discovery & Search. Pesquisa com Operadores Booleanos. Disponível em: [https://connect.ebsco.com/s/article/Pesquisa-com-Operadores-Booleanos?Language=en\\_US](https://connect.ebsco.com/s/article/Pesquisa-com-Operadores-Booleanos?Language=en_US). Acesso em: 02 maio 23.

FILHO, Ítalo Latucca. Impressora 3D e suas aplicações no mundo. 2015. Disponível em: [https://abandre.github.io/tccs/2015/TCC Impressora 3D.pdf](https://abandre.github.io/tccs/2015/TCC%20Impressora%203D.pdf) . Acesso em: 27 Mar. 2023.

GUIMARÃES, Naira Dias. O uso da impressora 3D nas práticas médicas. 2016. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/235/9047> . Acesso em: 14 Apr. 2023.

LAZAR J, Feng JH, Hochheiser H. Research methods in human computer interaction, Wiley, 2010. 448p.

LORENZONI, Lara Bonatto; DA SILVA, Adrieli and PATATT, Katarine. TECNOLOGIA: UM AVANÇO NA ÁREA DA MEDICINA. Mostra Interativa da Produção Estudantil em Educação Científica e Tecnológica, 2017. Disponível em: <<https://publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/moeducitec/article/view/8510>> . Acesso em: 27 Mar. 2023.

MACEDO, Gelvison Gomes; GOMES TEIXEIRA, Thiago Rhangel; GANEM, Gustavo; et al. Fraturas do fêmur em idosos: um problema de saúde pública no Brasil. Revista Eletrônica Acervo Científico, vol. 6, p. e1112, 2019. Disponível em: <<https://acervomais.com.br/index.php/cientifico/article/view/1112>> . Acesso em: 16 Apr. 2023.

SENSE SCANNER 3-D. Leve o seu mundo físico para o digital com a digitalização 3D. Catálogo Sense. Disponível em: [<https://3be.com.br/wp-content/uploads/2016/07/SENSE-Portugues-3be.pdf>] . Acesso em: 02 maio 2023.

RAULINO, Bruno Ribeiro. Manufatura aditiva: desenvolvimento de uma máquina de prototipagem rápida baseada na tecnologia FDM (modelagem por fusão e deposição). 2011. x, 142 f., il. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecatrônica)—Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

SOARES, Glauton Farias Carvalho, DA SILVA ANDRADE, Erci Gaspar. A osteoporose: um dos principais fatores responsável de fraturas em idosos e sua relevância. Revista de Iniciação Científica e Extensão, vol. 2, no. 1, p. 24–29, 2019. Disponível em: <<https://revistasfasesa.senaaires.com.br/index.php/iniciacao-cientifica/article/view/138>> . Acesso em: 1 May 2023.

VARELA, Laura de Almeida. Biomodelo 3D de fraturas ósseas para auxílio no planejamento cirúrgico. 2022. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Biomédica), Departamento de Engenharia Biomédica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/50686>. Acesso em: 16 abril. 2023.

**Anexo 01 – Comprovante da Mensagem eletrônica encaminhada pela Comissão Organizadora do IV Encontro Internacional de Inovação em Saúde, II Feira de Inovação Tecnológica do Distrito Federal (IV INOVATEC), sobre a publicação do Resumo do trabalho apresentado no BOOK ABSTRACT do Congresso no Journal of Global Innovation (JGI) da Bioprospetum do Parque Tecnológico do Porto (Portugal), volume 5, Issue1, 2024:**



1

**INOVATEC**  
IV INTERNATIONAL MEETING  
ON HEALTH INNOVATION

**IV International Meeting on Health Innovation  
(IV INOVATEC)  
II Federal District Technological Innovation  
Convention**

November | 10 - 12 | 2023, Brasília, Brazil

People & Science Pesquisa Desenvolvimento e Inovação LTDA, Brazil  
Núcleo de Pesquisa em Medicina Tropical da Faculdade de Medicina da  
Universidade de Brasília (NMT/FM-UnB), Brazil  
Núcleo de Pesquisa em Morfologia e Imunologia Aplicada da Faculdade  
de Medicina da Universidade de Brasília (NuPMIA/FM-UnB), Brazil

Volume 5, Issue 1

Special Issue: 2024

IV International Meeting on Health Innovation (IV INOVATEC)  
 II Federal District Technological Innovation Convention  
 November | 10 – 12 | 2023, Brasília, Brazil



*INNOVATION IN HEALTH AS A TOOL FOR SOCIAL TRANSFORMATION*

People&Science Pesquisa Desenvolvimento e Inovação LTDA, Brazil  
 Núcleo de Pesquisa em Medicina Tropical da Faculdade de Medicina da Universidade de Brasília  
 (NMT/FM-UnB), Brazil  
 Núcleo de Pesquisa em Morfologia e Imunologia Aplicada da Faculdade de Medicina da  
 Universidade de Brasília (NuPMIA/FM-UnB), Brazil





PP.9

### Impressão de estruturas anatômicas de ossos em 3-D para tratamento de fraturas e reabilitação em idoso

Brenneke, F. W.<sup>1</sup>; Melo, C. M.<sup>2</sup>; Benito, L. A.<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Faculdade Ciências Educação em Saúde, Centro Universitário de Brasília, CEUB, Brasília, Brasil.

\* E-mail: [Fabrício.brenneke@sempreceub.com](mailto:Fabrício.brenneke@sempreceub.com)

#### RESUMO

Introdução: A evolução das impressoras, desde os anos 80 até as impressoras 3-D atuais, transformou indústrias e os setores da saúde. Desta forma, a impressão 3-D é aplicada na criação de órgãos, próteses e estruturas anatômicas, revolucionando tratamentos e acelerando a recuperação, especialmente em pessoas idosos com fraturas, melhorando a qualidade de vida (QV). Objetivo: Avaliar a viabilidade da utilização da impressão 3-D para produzir próteses ósseas personalizadas, focando em pacientes idosos com fraturas. Metodologia: A pesquisa experimental que visou avaliar a viabilidade da impressão 3-D para criar próteses ósseas personalizadas, com foco em fraturas em idosos. O processo incluiu o escaneamento ósseo, modelagem em software, impressão 3-D e teste de resistência, ensaios mecânicos, respeitando normas técnicas. Conclusão: O estudo visou avaliar a resistência e durabilidade de próteses ósseas sintéticas impressas em 3-D em comparação com ossos humanos, objetivando aprimorar o tratamento de fraturas ósseas em idosos. Além disso, buscou analisar a precisão anatômica da impressão 3-D e a integração da prótese com o corpo, visando desenvolver soluções personalizadas mais eficazes e acessíveis.

**Palavras-chave:** Impressão tridimensional, Fêmur e Idoso.

**Agradecimentos:** A todos aqueles que auxiliaram diretamente e indiretamente esse trabalho.

**Anexo 02 – Primeiro artigo publicado na formar de Editorial, do projeto de pesquisa de iniciação científica, possuidora do título “Proposta de impressão em 3-D do osso fêmur de pessoas idosas vitimadas de fratura: Considerações preliminares”.**

**Proposta de impressão em 3-D de ossos de pessoas idosas vitimadas de fratura: Considerações preliminares**

**Proposal for 3-D printing of bones from elderly people suffering from fractures: Preliminary considerations**

**Propuesta de impresión 3D de huesos de personas mayores con fracturas: Consideraciones preliminares**

*Guilherme de Paula Storti Meirelles<sup>1</sup>, Sarah Valadares Bomtempo<sup>2</sup>, Fabricio Werner Brenneke Martins<sup>3</sup>, Cassiana Marinho Melo<sup>4</sup>, Lincoln Agudo Oliveira Benito<sup>5</sup>, Izabel Cristina Rodrigues da Silva<sup>6</sup>*

**Como citar:** Meirelles GPS, Bomtempo SV, Martins WB, Melo CM, Benito LAO, Silva ICR. Proposta de impressão em 3-D de ossos de pessoas idosas vitimadas de fratura: Considerações preliminares. REVISA.2024;13(1): 12-23. Doi: <https://doi.org/10.36239/revisa.v13.n1.p12a23>

**REVISA**

1 Centro Universitário de Brasília. Brasília, Distrito Federal, Brasil. <https://orcid.org/0009-0005-4651-2482>

2 Centro Universitário de Brasília. Brasília, Distrito Federal, Brasil. <https://orcid.org/0009-0005-2332-9215>

3 Centro Universitário de Brasília. Brasília, Distrito Federal, Brasil. <https://orcid.org/0000-0002-0914-6953>

4 Centro Universitário de Brasília. Brasília, Distrito Federal, Brasil. <https://orcid.org/0009-0001-1529-6946>

5 Centro Universitário de Brasília. Brasília, Distrito Federal, Brasil. <https://orcid.org/0000-0001-8624-0176>

6 Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias em Saúde Brasília, Distrito Federal, Brasil. <https://orcid.org/0000-0002-6836-3505>

Recebido: 23/07/2024  
Aprovado: 27/09/2024

No ano de 1984, foi criada a primeira impressora do tipo 3-D pelo engenheiro de origem norte-americana, Dr. Charles Hull, sendo que, antes disso, mais especificamente a quatro (04) anos, o japonês Dr. Hideo Kodama, desenvolveu a técnica de estereolitografia, que consistia em uma prototipagem rápida, possuindo enquanto intuito, “criar” objetos usando para este intento, luz ultravioleta (UV), ou ainda, um projetor para endurecer uma resina do tipo líquida em plástico sólido e resistente, ficando posteriormente conhecida como a sigla SLA.<sup>1,2</sup> Após dois (02) anos, em 1986, Hull patenteou a SLA e, com isso, ele teve a oportunidade de desenvolver a “3-D Systems Corp”, presente até hoje, sendo está uma das maiores empresas do ramo e, desta forma, o primeiro objeto então escolhido pelo Dr. Hull para ser impresso, foi uma lâmpada feita com resina, um plástico sintético.<sup>1,2</sup>

Já em 1989, a primeira impressora 3-D já estava no mercado há pelo menos um (01) ano, quando sua principal concorrente foi criada, a 3D Modeler e, desta forma, o Dr. Scott Scrump por sua vez, utilizou um sistema chamado de “FDM”, sendo ele, o método mais empregado atualmente.<sup>3,4,5</sup> Este importante método, tinha a possibilidade de produzir objetos por sobreposição, sendo que os seus materiais utilizados, variavam desde resinas, cerâmicas e plásticos, até mesmo “tecidos humanos” e ainda, alguns tipos de alimentos de consumo humano.<sup>4,5</sup>

EDITORIAL

Meirelles GPS, Bomtempo SV, Benito LAO

Nesse contexto analítico, é possível defender que, o seu tempo de produção, comparado ao processo de estereolitografia, era bem mais lento, dependendo principalmente do objeto que iria ser impresso.<sup>3,5</sup> Já na década de 90, muitos métodos já haviam sido criados e, para adquirir uma impressora do tipo 3-D, era necessário desembolsar um valor em torno de um (01) milhão de dólares, se limitando a adoção da tecnologia por grandes instituições, ou ainda, empresas e, na mesma época, pesquisas médicas e da área da saúde acerca da criação de próteses de membros de órgãos humanos pela impressora 3-D, foram iniciadas independentemente do valor que seria gasto.<sup>3,5,6</sup>

Com isso, no ano de 1999, o “*Instituto Wake Forest®*”, imprimiu e implantou no corpo humano, seu primeiro órgão, ou seja, uma bexiga, sendo que ela foi desenvolvida, a partir de células do próprio receptor, apresentando assim, uma frequência menor ou ainda, relativamente inexistente de rejeição à própria pessoa.<sup>3,6</sup> Já por volta do ano de 2000, a criação de objetos pela impressora 3-D foi facilitada, conseqüentemente, um rim foi criado, por meio do método “*fused deposition modeling*” (FDM) e, desta forma, após cinco (05) anos mais tarde, o Dr. Adrian Brower desenvolveu um projeto conhecido enquanto “*RepRap*”, que possuía enquanto objetivo, realizar uma impressora que se “auto construiria”, ou também, grande parte de suas peças.<sup>2,5,6</sup>

É importante destacar que, esse objetivo foi concretizado quando, em 2008 a impressora conhecida enquanto “*Darwin*”, foi a primeira máquina a ser capaz de se auto replicar, democratizando o acesso à essa importante tecnologia.<sup>1,4,5,6</sup> Nesse mesmo ano de 2008, foi feita a primeira prótese de uma perna humana, com total sucesso e, em 2013, durante seu auge, o primeiro transplante (Tx) de rim, foi realizado com o auxílio de uma máquina tridimensional (3-D), despertando assim, uma nova linha de produção, capaz de modificar o rumo de toda área da saúde e da biotecnologia.<sup>2,4,5,6</sup>

Desta forma, e até o ano de 1950, várias foram às formas tecnológicas desenvolvidas, como por exemplo, a televisão, o telefone, sendo esse processo de produção tecnológico conhecido enquanto a quarta (4ª) revolução, que teve como principal característica constitutiva, os processos autônomos, digitalizados e integrados, suportados por diversas tecnologias, chamadas enquanto “pilares” da indústria.<sup>4,5,7</sup> De forma, os meios de inovação tecnológica e de inovação, vêm aumentando consideravelmente nos últimos anos e, essas importantes mudanças e transformações, fizeram com que os usuários, tivessem que se adaptar a esses métodos, os tornando de forma geral, mais eficientes e eficazes no seu trabalho.<sup>4,5,6,7</sup>

Na área médica e da biotecnologia, a impressão 3-D vem sendo fortemente utilizada para fabricar implantes customizados, próteses, modelos médicos e muitos outros dispositivos e, com isso, essa tecnologia vai oferecer produtos de “*healthcare*” individualizados, sendo eles capazes de ajudar a saúde, bem-estar e a qualidade de vida (QV) de todas às pessoas.<sup>5,6,7,8</sup> Nesse contexto, é importante destacar que o princípio básico da impressão 3-D, e a geração de objetos por meio da adição de material(is), no formato do tipo “camada por camada”.<sup>3,4,6,7,8</sup>

Desta forma, são apresentadas as respectivas etapas de produção de objetos e estruturas, por meio das impressoras 3-D, sendo elas:

Meirelles GPS, Bomtempo SV, Benito LAO

**Tabela 01** – Produção de objetos e estruturas, por meio da impressão 3-D:<sup>3,7,8</sup>

Etapa	Ações
1ª Etapa	A construção de objeto “camada-por-camada”;
2ª Etapa	A geração de modelo de malha STL;
3ª Etapa	O pós-processamento e acabamento;
4ª Etapa	A geração de camadas e planejamento de fabricação;
5ª Etapa	A modelagem computacional no formato 3-D.

Fonte: Adaptado pelos autores, 2023.

Nesse contexto, a criação de modelos computacionais no formato 3-D, são executados por computadores do tipo CAC, que auxiliam no processo de desenho e na criação dos projetos.<sup>3,7,8,10</sup> Desta forma, para se produzir às impressões, um dos métodos utilizados para a produção é o por camadas e, conseqüentemente, os materiais mais escolhidos são os arquivos mais leves, chamados de “modelos de malha”.<sup>3,7,8,10</sup>

É de fundamental importância lembrar que, o “projetista” ou “designer”, necessita especificar o tamanho correto e a escala da malha, para que o objeto tenha sucesso no processo de impressão e, caso ocorra algum erro na medida, o objeto poderá manifestar, por exemplo, erros em sua forma constituinte.<sup>3,8,10</sup> Além disso, estes importantes modelos, também proporcionam restrições à variação geométrica, muito superior aos modelos nativos de programas CAD, expondo defeitos na falta ou a redução de alguma fase.<sup>3,8,10</sup>

Já em relação aos métodos de impressão, podem ser citados a estereolitografia (SLA), o método Modelagem por Fusão e Deposição (FDM), o método Sinterização a laser seletiva (SLS) e o método Sinterização a laser de metal direta (DMLS).<sup>3,4,8,10</sup> Desta forma, o método SLA é utilizado enquanto referência para produção de moldes e de protótipos, sendo que o seu tempo de impressão é curto e, às peças têm uma boa qualidade em sua finalização e, além disso, a impressora não requer funcionários altamente experientes para sua manipulação, sendo está a sua principal vantagem.<sup>4,5,6,7,9</sup>

Em contrapartida, esse importante método, tem um maior custo financeiro e, suas peças, são mais frágeis em relação à luz e sua disponibilização de materiais, além de ser menor em comparação aos outros métodos.<sup>4,5,9,7,9</sup> Seu meio de produção é baseado na utilização da resina do tipo líquida para a sua impressão, sendo que a plataforma de construção, é submersa na resina e, em seguida, polimerizada por uma luz do tipo ultravioleta (UV), e desta forma, esse laser é usado para firmar a primeira camada da estrutura que será impressa de forma tridimensional.<sup>11,12,13</sup>

Em seguida, a plataforma é inserida novamente na resina, repetindo assim várias vezes esse processo, até chegar no final e, em seguida, o modelo é retirado da resina e lavado, sendo introduzido em uma câmara com radiação UV e subordinado a uma cura completa, apresentando no final, uma aparência classificada enquanto translúcida.<sup>9,11,12,13,14</sup> Já em relação ao método “*Selective Laser Sintering*” (SLS), são produzidos objetos em 3-D, pelo processo de nivelamento de camadas semelhantes por polímeros em pó e, quando se inicia essa atividade de formar a camada, ela irá se solidificar com a ocorrência de um laser de dióxido de carbono (CO<sup>2</sup>) e, colocada em um cilindro para resfriar, até um nível abaixo do seu ponto de derretimento.<sup>14,15,16,17</sup>

Após a produção de diversas camadas, elas são conectadas quimicamente entre si, por meio do calor do *laser*, sendo que, uma de suas vantagens é a

Meirelles GPS, Bomtempo SV, Benito LAO

disponibilidade de materiais compostos principalmente de poliamida (PA), poliestireno (PS), elastômeros termoplásticos (TPE), cerâmicas e metal com polímeros aglutinantes para aplicações em ferramenta leve.<sup>12,13,15,16,17</sup> Desta forma e, apesar do seu custo elevado, o modelo é resistente mecanicamente e termicamente e, sendo assim, esse método é utilizado para fabricar modelos anatômicos específicos, por polímeros e engenharia de tecidos, além de protótipos e peças para indústrias e moldes.<sup>15,16</sup>

É possível citar também o *Fused Deposition Modeling* (FDM) que, além de ser a segunda (2ª) técnica mais utilizada, traz diversas vantagens, como por exemplo, menor custo de produção, uma maior disponibilidade de materiais necessários, e também, menor desperdício de material, proporcionando a sua maior economia.<sup>11,12,13,15,18</sup> Mesmo assim, esse método apresenta a mais baixa qualidade final, quando comparado com os outros métodos e, dessa forma, necessita de um acabamento manual.<sup>13,16,17,18,19,20</sup>

Este processo, coloca um fio de material derretido, geralmente de um filamento de plástico, podendo ser configurado um valor em porcentagem (%) do preenchimento do material, variando de 10% a 100%, sobre uma mesa com o uso de um “bocal móvel”.<sup>11,14,15,18,19,22</sup> Desta forma, a matéria-prima deve ser aquecida a uma temperatura pouco acima de seu ponto de fusão dentro do bico, depois, expelido através de um cabeçote para um substrato e, resfriado até solidificar e formar uma camada, sendo que, existem também, cabeçotes de materiais para suporte, que é retirado pelo processo de limpeza ao final do processo.<sup>11,12,13,18,19,22</sup>

Conforme apontado por vários pesquisadores, esses passos se repetem até que o produto final seja concluído, sendo que a velocidade pode atingir um limiar de aproximadamente 180mm/s e, desta forma, os avanços foram feitos na pesquisa, para incluir o uso de um sistema do tipo “multi-bico”, onde, cada bocal, deposita um material diferente para fabricar objetos com novas características.<sup>2,5,10,17,18,22</sup> Os materiais mais utilizados nesse processo são o acrilonitrilo butadieno-estireno (ABS), o ácido polilático (PLA), o poliestireno de alto impacto (HIPS), o policarbonato (PC), a poliamida (PA) e a polifenilsulfona (PC-ABS e PC-ISO).<sup>2,5,11,17,18,21,22,24</sup>

Esse importante método, serve principalmente para fabricar protótipos e moldes e na engenharia de tecidos humanos, além de imprimir peças por meio de polímeros.<sup>2,5,21,22,23,24</sup> Por outro lado, o processo de prototipagem do tipo DMLS, se constitui enquanto uma excelente ferramenta, para o processo de construção de implantes.<sup>21,22,23,24</sup>

O material utilizado para esse método de impressão em 3-D, é um conjunto de pós-metálicos e, geralmente, esse método é utilizado na área médica e de bioengenharia, para implantes, próteses e na área de defesa/aeroespacial, servindo para a criação de motores e armamentos bélicos.<sup>21,22,23,24,26</sup> As principais desvantagens desse método são, a elevada temperatura, risco de impurezas no metal derretido e o tempo de processamento, que pode levar mais de 12 horas (h), independentemente do tamanho da peça.<sup>20,21,22,23,24,25,26</sup>

É utilizado um *laser* de alta intensidade para sintetizar uma mistura de vários tipos de pós-metálicos, sem ajuda de aglutinantes, em um objeto de metal sólido dentro da câmara aquecida e controlada por gás e, com isso, o calor do laser irá derreter o material com menor ponto de fusão, criando uma “molhabilidade” adequada entre às ligas metálicas que será espalhada por um rolo ou um raspador, em cada movimento vertical da máquina.<sup>23,24,25</sup> E ao final,

Meirelles GPS, Bomtempo SV, Benito LAO

a peça desejada que foi constituída, é possível modificar o processo de fabricação mudando a força do laser, a velocidade do rolo ou a estratégia de construção.<sup>24,25,27,28</sup>

Esse método é capaz de reduzir, por exemplo, o tempo da realização de procedimentos cirúrgicos e, também, criar próteses com menor grau de rejeição.<sup>22,23,24,27,28</sup> Essa tecnologia, vêm sendo utilizada na medicina regenerativa, processos que envolvem sistemas biológicos e de estudos farmacocinéticos, onde, apesar dos múltiplos avanços tecnológicos, esse processo ainda sofre com o alto custo de produção e de peças resistentes, fazendo com que seu uso seja ainda bem restrito.<sup>27,28,29,30</sup>

A impressão do tipo 3-D, pode ser usada em diversas áreas e, entre elas, podem ser citadas a medicina fetal, onde, os profissionais médicos, utilizam essa tecnologia para fazer um modelo do feto, durante o processo natural de gestação, podendo assim, facilitar o diagnóstico de má formação congênita e ainda, certas características físicas.<sup>28,29,30,31</sup> Segundo alguns pesquisadores, é utilizado também, na área de engenharia de tecidos, às células do organismo de um doador, com o propósito de permitir à reconstrução do tecido *in vitro*.<sup>28,29,30,31</sup>

Outro meio de utilização é a impressão de modelos anatômicos para servirem de base para estudos em colégios, faculdades, centros tecnológicos e universidades, e por fim, pode ser usada para imprimir cartilagens, órgãos e ajudar na área da cardiologia, imprimindo válvulas do coração e de outros órgãos, diminuindo assim o tempo da fila de Tx de órgãos e de estruturas corporais.<sup>29,30,31,32</sup> Porém, esse último necessita um método de desenvolvimento mais complexo, porém, os avanços estão acontecendo cada vez mais rapidamente.<sup>27,28,29,30,31,32</sup>

Diversas áreas da medicina e da bioengenharia, em especial de várias cirúrgicas do tipo ortopédicas, estão realizando cada vez mais fortemente, o uso da manufaturas aditivas de modelos anatômicos e morfológicos, de implantes personalizados, guias de corte e de perfuração, órteses e próteses.<sup>29,30,33,34,35,38</sup> Esse importante processo, está permitindo desta maneira, o melhor e mais eficiente planejamento pré-operatório e de forma mais acurada, conhecida mais comumente enquanto *Virtual Surgical Planning* (VSP), ou seja, a simulação de cirurgias com treinamento da equipe, para a melhor comunicação inclusive com o paciente.<sup>29,30,31,32,33,38</sup>

Essa opção é melhor para o paciente, ou até para os órgãos públicos de várias maneiras, como por exemplo, financeiramente.<sup>32,33,35,36</sup> Desta forma, o custo médio de um tratamento cirúrgico para fratura identificada no osso fêmur, é de aproximadamente R\$ 39.160,75, contando que a prótese custe por volta de R\$ 3.556,17 e, já o modelo em impressão 3-D, possui um preço muito mais acessível, além de ser mais rapidamente produzido para sua utilização.<sup>35,36</sup>

Até o ano de 2025, segundo a OMS, a República Federativa do Brasil se constituirá enquanto o sexto (6º) país do mundo em número de pessoas idosas e, desta forma, conforme elas vão envelhecendo, às doenças crônicas não-transmissíveis (DCNTs) se transformam nas principais causas que facilitam o processo de morbidade, incapacidade e mortalidade em todas as regiões do mundo.<sup>30,34,35,37,38,39</sup> Uma das principais doenças que acomete às pessoas idosas é a cardiovascular, como por exemplo, a estenose aórtica (EA), a qual a mesma possui um impacto significativo na mortalidade e qualidade de vida (QV) deles, avançando entre aproximadamente 2% a 5% desses pacientes.<sup>25,30,34,35,37,39</sup>

A partir do início da doença e, segundo alguns pesquisadores, o paciente

Meirelles GPS, Bomtempo SV, Benito LAO

teria em média de 2 a 3 anos se não for corrigido com substituição da valva aórtica.<sup>34,36,38,39,40</sup> Os modelos em 3-D, apresentam vantagens sobre os espécimes em termos de custo financeiro, facilidade de reprodutibilidade e conservação/armazenamento e, nesse sentido, prevendo também, às possíveis incompatibilidades e, fornecendo técnicas viáveis e não invasivas, auxiliando na visualização da anatomia cardíaca, além de fornecer informações preciosas para se preparar um procedimento mais seguro, livre de riscos e eficaz.<sup>34,26,37,40,41,42</sup>

A startup "*Biolife 4D*", já é capaz de imprimir partes de músculos cardíacos, permitindo a recuperação de insuficiência cardíaca aguda (ICA), e também, fabricando um "adesivo cardíaco", que melhora a contração da "bomba cardíaca humana", após um caso de ataque cardíaco e válvulas mitrais com funcionamento comprometido, além, da válvula aórtica e enxertos com diâmetro menor, que podem prevenir a formação de coágulos no seio coronário.<sup>40,41,42</sup> Uma das principais vantagens da utilização da impressão 3-D observada, é o auxílio a pessoas com doenças do tipo músculo-esqueléticas, desenvolvendo desta forma, próteses e também, podendo ser gerada a impressão do próprio osso fraturado, devido por exemplo, o desenvolvimento de uma doença no fêmur, na tíbia e na articulação coxo-femoral.<sup>41,42,43</sup>

Desta forma, é possível evidenciar o grande quantitativo de pessoas idosas, que já tiveram algum tipo de fratura no fêmur ou em alguma parte dos membros inferiores (MMSS) e, posteriormente, foram internadas, sendo viável registrar, segundo apontado por alguns pesquisadores, mais de 322.817 pacientes durante o período de 2015 a 2020.<sup>40,41,43</sup> Nesse contexto, é possível contabilizar aproximadamente trinta mil (30.000) casos por ano de internações no Sistema Único de Saúde (SUS), devido ao desenvolvimento de fraturas de fêmur, custando aproximadamente a bagatela de cinquenta e oito milhões de reais (R\$ 58.000.000,00) para os cofres públicos.<sup>40,41,42,43</sup>

A partir disso, é possível deduzir que a impressora 3-D e suas utilizações no setor hospitalar, se tornam um dos fatores determinantes que podem contribuir, para o melhor e mais harmonioso processo para essas pessoas, no que se refere ao envelhecimento ativo da população, trazendo para essas pessoas mais QV, saúde e autonomia.<sup>41,42,43</sup> Para se produzir uma determinada estrutura corporal humana em uma impressora 3-D, é cobrado o valor dos materiais que serão utilizados, tudo depende de sua forma, de seu tamanho, do tempo de produção, da qualidade da produção e, se o objeto é oco ou não.<sup>39,40,41,42,43,44</sup>

De acordo com o site da "*MakerBot*", um quilograma (kg) de filamento de plástico do tipo PLA, custa em média US\$ 65 e, já no Brasil, é possível encontrá-lo no site da "*Amazon*" por aproximadamente R\$ 135,00, sendo que, para outros métodos, como por exemplo, o de estereolitografia, o custo é maior, sendo vendida a resina líquida em média por cerca de R\$ 300,00 o litro (l), aproximadamente.<sup>34,35,36,39,40,41,43,44</sup> Em um importante estudo desenvolvido pela consultoria da "*Markets and Markets*", até o ano de 2025, o mercado mundial das impressões 3-D deve atingir um montante de aproximadamente US\$ 42,9 bilhões, com um crescimento médio de 23,3%, entre os anos de 2018 e 2025.<sup>34,45</sup>

No campo da saúde, o valor dos materiais, os conhecidos "biomodelos", podem ser adquiridos por cerca de R\$ 3.000,00 a R\$ 4.000,00, entretanto, se o intento é a compra de "células tronco", para a criação ou reparação completa de órgãos, o preço é muito maior, passando próximo dos R\$ 2.000.000,00.<sup>34,46</sup> Porém, com o desenvolvimento da tecnologia e, das novas formas de "criação", é possível observar uma queda significativa do seu valor financeiro, portanto, em

Meirelles GPS, Bomtempo SV, Benito LAO

um futuro próximo, a presença desse equipamento, vai se tornar cada vez mais frequente, no ambiente doméstico e, quem sabe, se configurar enquanto um eletrônico tão necessário quanto uma impressora do tipo 2-D.<sup>34,46,47,48</sup>

Os EUA foram os pioneiros no campo da impressora 3-D e, devido a isso, os principais métodos surgiram do mesmo, além disso, foram eles que começaram a usar essa tecnologia na área da saúde e biotecnológica e, por conta desta questão, eles possuem a maior capacidade de produção, também, os produtos e matérias-primas, são bem mais acessíveis.<sup>34,47,49</sup> Mesmo assim, o Japão e a Alemanha, também tiveram grande influência no ramo de impressão 3-D, sendo que no primeiro, pesquisadores da *Osaka University* (大阪大), ou Universidade de Osaka, conseguiram realizar um Tx de coração, utilizando para esse intuito, células-tronco para o desenvolvimento de um coração.<sup>46,47,49,50,51</sup>

Em contrapartida, a Alemanha conseguiu desenvolver um prédio inteiro de dois (2) andares de 160 m<sup>2</sup>, construído por meio de uma impressora 3-D, mostrando desta forma, o alto desenvolvimentos desses países na temática em questão.<sup>46,47,49,52</sup> O aumento de tratamento de doenças e também, a criação de novos medicamentos, aumentaram a expectativa de vida da população em geral e, com isso, às DCNT se tornaram um problema de saúde pública, tanto nacionalmente quanto internacionalmente, e desta forma, é possível citar às doenças cardiovasculares, às neoplasias malignas, às doenças ósseas e às respiratórias do tipo crônicas.<sup>48,49,52,53</sup>

Devido a esse complexo fenômeno, o Sistema Único de Saúde (SUS), representado pelas suas inúmeras instituições de saúde, se encontra num verdadeiro “super loteamento” e “sobrecarga”, no que se refere ao quantitativo de pacientes, que necessitam de vários procedimentos em saúde, como por exemplo, Tx de órgãos e tecidos sólidos.<sup>48,50,51,52,53</sup> Desta forma, a quantidade de órgãos disponíveis para realização de Tx, não se equipara à demanda existente na atualidade, conforme apontado por alguns pesquisadores e especialistas deste assunto.<sup>48,50,51,52</sup>

Neste contexto analítico e, objetivando reduzir os impactos diretos e indiretos gerados por este problema de saúde pública, uma proposta a ser analisada, é a bioengenharia na impressão destes tecidos, órgãos e estruturas corporais, capaz de mitigar esta complexa questão de saúde pública.<sup>48,49,50,51,52</sup> A partir da utilização da impressão 3-D, será possível desenvolver estruturas ósseas e replica órgãos, capazes de substituir futuramente às peças naturais e, contribuir para a resolução desta “questão” tão emergente de saúde pública, como defendido anteriormente, que tanto aflige a população mais vulnerabilizada.<sup>49,50,51,52,53</sup> Por esses motivos, é de extrema importância se prestar atenção nessa complexa e importante tecnologia, capaz de grandes realizações, existindo a necessidade de se melhor estudá-la e de conhecê-la, objetivando que ela se torne uma metodologia de fácil acesso e, que ajude a melhorar a QV de pacientes e das futuras gerações.<sup>50,51,52,53</sup> O tecido ósseo está em permanente remodelação e, sua massa constituinte total, depende da relação de equilíbrio existente entre a sua formação e da reabsorção de sua matriz óssea.<sup>44,46,50,51,52,53</sup>

O principal problema das conhecidas doenças ósseas e do processo de envelhecimento, se dá pela reduzida ou ineficiente formação dessa matriz, e também, pela baixa formação da mesma, onde, doenças como a osteoporose, vem aumentando sua presença consideravelmente na população, e também, pelos riscos de fraturas ósseas, e com isso, este é um meio para se substituir ou reparar uma estrutura utilizando esta nova tecnologia.<sup>49,50,51,52,53</sup>

Meirelles GPS, Bomtempo SV, Benito LAO

um futuro próximo, a presença desse equipamento, vai se tornar cada vez mais frequente, no ambiente doméstico e, quem sabe, se configurar enquanto um eletrônico tão necessário quanto uma impressora do tipo 2-D.<sup>34,46,47,48</sup>

Os EUA foram os pioneiros no campo da impressora 3-D e, devido a isso, os principais métodos surgiram do mesmo, além disso, foram eles que começaram a usar essa tecnologia na área da saúde e biotecnológica e, por conta desta questão, eles possuem a maior capacidade de produção, também, os produtos e matérias-primas, são bem mais acessíveis.<sup>34,47,49</sup> Mesmo assim, o Japão e a Alemanha, também tiveram grande influência no ramo de impressão 3-D, sendo que no primeiro, pesquisadores da *Osaka University* (大阪大), ou Universidade de Osaka, conseguiram realizar um Tx de coração, utilizando para esse intuito, células-tronco para o desenvolvimento de um coração.<sup>46,47,49,50,51</sup>

Em contrapartida, a Alemanha conseguiu desenvolver um prédio inteiro de dois (2) andares de 160 m<sup>2</sup>, construído por meio de uma impressora 3-D, mostrando desta forma, o alto desenvolvimentos desses países na temática em questão.<sup>46,47,49,52</sup> O aumento de tratamento de doenças e também, a criação de novos medicamentos, aumentaram a expectativa de vida da população em geral e, com isso, às DCNT se tornaram um problema de saúde pública, tanto nacionalmente quanto internacionalmente, e desta forma, é possível citar às doenças cardiovasculares, às neoplasias malignas, às doenças ósseas e às respiratórias do tipo crônicas.<sup>48,49,52,53</sup>

Devido a esse complexo fenômeno, o Sistema Único de Saúde (SUS), representado pelas suas inúmeras instituições de saúde, se encontra num verdadeiro “super loteamento” e “sobrecarga”, no que se refere ao quantitativo de pacientes, que necessitam de vários procedimentos em saúde, como por exemplo, Tx de órgãos e tecidos sólidos.<sup>48,50,51,52,53</sup> Desta forma, a quantidade de órgãos disponíveis para realização de Tx, não se equipara à demanda existente na atualidade, conforme apontado por alguns pesquisadores e especialistas deste assunto.<sup>48,50,51,52</sup>

Neste contexto analítico e, objetivando reduzir os impactos diretos e indiretos gerados por este problema de saúde pública, uma proposta a ser analisada, é a bioengenharia na impressão destes tecidos, órgãos e estruturas corporais, capaz de mitigar esta complexa questão de saúde pública.<sup>48,49,50,51,52</sup> A partir da utilização da impressão 3-D, será possível desenvolver estruturas ósseas e replica órgãos, capazes de substituir futuramente às peças naturais e, contribuir para a resolução desta “questão” tão emergente de saúde pública, como defendido anteriormente, que tanto aflige a população mais vulnerabilizada.<sup>49,50,51,52,53</sup> Por esses motivos, é de extrema importância se prestar atenção nessa complexa e importante tecnologia, capaz de grandes realizações, existindo a necessidade de se melhor estudá-la e de conhecê-la, objetivando que ela se torne uma metodologia de fácil acesso e, que ajude a melhorar a QV de pacientes e das futuras gerações.<sup>50,51,52,53</sup> O tecido ósseo está em permanente remodelação e, sua massa constituinte total, depende da relação de equilíbrio existente entre a sua formação e da reabsorção de sua matriz óssea.<sup>44,46,50,51,52,53</sup>

O principal problema das conhecidas doenças ósseas e do processo de envelhecimento, se dá pela reduzida ou ineficiente formação dessa matriz, e também, pela baixa formação da mesma, onde, doenças como a osteoporose, vem aumentando sua presença consideravelmente na população, e também, pelos riscos de fraturas ósseas, e com isso, este é um meio para se substituir ou reparar uma estrutura utilizando esta nova tecnologia.<sup>49,50,51,52,53</sup>

Meirelles GPS, Bomtempo SV, Benito LAO

## Agradecimentos

À Fundação de Ensino e Pesquisa do Distrito Federal (FAP-DF), pelo apoio disponibilizado na forma de fomento, em Parceria com o Centro Universitário de Brasília (CEUB), pelo Programa de Iniciação Científica (PIC-PIBIC-2023-2024). A Assessoria de Pós-graduação e Pesquisa do CEUB, por todo apoio, dedicação e auxílio na resolução de questões emergentes.

## Referências

1. Wohlers T, Gornet T, Mostow N, Campbell I, Diegel O, Kowen J, et al. History of Additive Manufacturing. Wohlers Report 2016-2022, Doi: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4474824>.
2. Stoof D, Pickering K. 3D Printing of Natural Fibre Reinforced Recycled Polypropylene. Available in: [<https://researchcommons.waikato.ac.nz/bitstream/handle/10289/11095/3D.pdf?isAllowed=y&sequence=8>]. Access at: 02 oct 2023.
3. Cunico MW. Impressoras 3-D: O novo meio produtivo. Concep3D Pesquisas Científicas. Curitiba, 2018. 114p.
4. Silva AL. Impressão 3-D: Análise da evolução e seus impactos no mundo científico. Rev. FSA. 2021; 18(11):124-144. Doi: <http://dx.doi.org/10.12819/2021.18.11.6>.
5. Calignano F, et al. Overview on additive manufacturing technologies. Proceedings of the IEEE. 2017;105(4):593-612. Doi: [10.1109/JPROC.2016.2625098](https://doi.org/10.1109/JPROC.2016.2625098).
6. R3DY. Quando surgiu a impressão 3D. Disponível em: [<https://www.r3dy.com.br/historia-da-impressao-3d/>]. Acesso em: 25 mar. 2023.
7. Pou J, Riveiro A, Davim JP. Additive manufacturing: Handbooks in advanced manufacturing. Elsevier, 2021. 741p.
8. Dodziuk H. Applications of 3D printing in healthcare. Kardiochirurgia i torakochirurgia polska. 2016;13(3): 283-293. Doi: [10.5114/kitp.2016.62625](https://doi.org/10.5114/kitp.2016.62625).
9. Roskam J, Lan CTE. Airplane aerodynamics and performance. DARcorporation: Kansas, 2003. 711p.
10. Ondrusch B. Como funciona uma impressora 3D FDM? Disponível em: [<https://www.wishbox.net.br/blog/como-funciona-uma-impressora-3d-fdm/>]. Acesso em: 20 mar. 2023.
11. Revilla-León M, Özcan M. Additive manufacturing technologies used for processing polymers: current status and potential application in prosthetic

Meirelles GPS, Bomtempo SV, Benito LAO

dentistry. *J Prosthodont*. 2019;28(2):146-158. Doi: [10.1111/jopr.12801](https://doi.org/10.1111/jopr.12801).

12. Bogue R. 3D printing: the dawn of a new era in manufacturing? *Assembly Automation*. 2013;33(4):307-311. Doi: [10.1108/AA-06-2013-055](https://doi.org/10.1108/AA-06-2013-055).

13. Huang SH, Liu P, Mokasdar A, Hou L. Additive manufacturing and its societal impact: a literature review. *Int J Adv Manuf Technol*. 2013;67:1191-1203. Doi: [10.1007/s00170-012-4558-5](https://doi.org/10.1007/s00170-012-4558-5).

14. Gorni AA. Introdução à prototipagem rápida e seus processos. *Revista Plástico Industrial*. 2001. 230-239. Disponível em: [<http://www.gorni.eng.br/protrap.html>]. Acesso em: 03 out. 2023.

15. Rodrigues LFB. Análise do aproveitamento de polímeros recicláveis para obtenção de filamentos para impressora 3D. Monografia (Especialização Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos) – Centro de Tecnologia, Universidade Aberta do Brasil, Universidade Federal de Santa Maria. Panambi, Rio Grande do Sul. 2017. 43p.

16. Mazzoli A. Selective laser sintering in biomedical engineering. *Med Biol Eng Comput*. 2013;51:245-256. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11517-012-1001-x>.

17. Grimm T. User's guide to rapid prototyping. Society of Manufacturing Engineers, 2004. 404p.

18. Silva PC, *et al.* impressão 3D: um guia prático. *Brazilian Journal of Development*. 2020;6(11):84478-84493. Doi: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n11-021>.

19. Veit DR. Impactos da manufatura aditiva nos sistemas produtivos e suas repercussões nos critérios competitivos. 2018. Tese - (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2018. 350p.

20. Wong KV, Hernandez A. A review of additive manufacturing. *International Scholarly Research Network, ISRN Mechanical Engineering*. 2012;1-10. Doi: <https://doi.org/10.5402/2012/208760>.

21. Raulino BR. Manufatura aditiva: desenvolvimento de uma máquina de prototipagem rápida baseada na tecnologia FDM (modelagem por fusão e deposição). 2011. 142f., il. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecatrônica) – Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

22. Volpato N. Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações. Blucher, 2007. 272p.

23. Bertol LS, Júnior W, Silva F, Aumund-Kopp C. Medical design: Direct metal laser sintering of Ti-6Al-4V. *Materials & Design*. 2010;31(8): 3982-3988. Doi: [10.1016/j.matdes.2010.02.050](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.02.050).

24. Zein I, Huttmacher DW, Tanc KC, Teoh SH. Fused deposition modeling of

Meirelles GPS, Bomtempo SV, Benito LAO

novel scaffold architectures for tissue engineering applications. *Biomaterials*. 2002;23(4):1169-1185. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0142-9612\(01\)00232-0](https://doi.org/10.1016/S0142-9612(01)00232-0).

25. Domröse R, Grünberger T. Lasers in Manufacturing Conference 2015. Identification of process phenomena in DMLS by optical in-process monitoring. 2015. 7p. Available in: [<https://translate.google.com/?sl=pt&tl=en&text=Dispon%C3%ADvel%20em%20&op=translate>]. Access at: 03 oct. 2023.

26. Verma A, Tyagi S, Yang K. Modeling and optimization of direct metal laser sintering process. *Int J Adv Manuf Technol*. 2015;77:847-860. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-014-6443-x>.

27. Esperto L, Osório A. Rapid tooling: sinterização directa por laser de metais. *Mecânica Experimental*. 2008;15:117-124.

28. Gregolin RF. Desenvolvimento, comportamento mecânico e microestrutural de uma prótese mandibular em liga de titânio produzida por sinterização direta a laser de metal (DMLS). 2013. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2013.

29. Guillemot F, Mironov V, Nakamura M. Bioprinting is coming of age: report from the International Conference on Bioprinting and Biofabrication in Bordeaux (3B'09). *Biofabrication*. 2010;2(1):010201. Doi: [10.1088/1758-5082/2/1/010201](https://doi.org/10.1088/1758-5082/2/1/010201).

30. Ishengoma FR, *et al.* 3D printing: Developing countries perspectives. *International Journal of Computer Applications*. 2014;104(11):30-34. Doi: [10.5120/18249-9329](https://doi.org/10.5120/18249-9329).

31. Cunha D, *et al.* 14º Congresso Brasileiro de Polímeros. Morfologia e viabilidade celular de scaffolds fabricados por manufatura aditiva. 2017. 5p. Disponível em: [[https://repositorio.usp.br/directbitstream/c29c1932-be15-4a5b-85d5-04c058105826/OK\\_trabalho%208%20-%20Morfol](https://repositorio.usp.br/directbitstream/c29c1932-be15-4a5b-85d5-04c058105826/OK_trabalho%208%20-%20Morfol)]. Acesso em: 04 out. 2023.

32. Ozbolat IT, Yu Y. Bioprinting toward organ fabrication: challenges and future trends. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 2013;60(3):691-699. Doi: [10.1109/TBME.2013.2243912](https://doi.org/10.1109/TBME.2013.2243912).

33. Rankin TM, *et al.* Image once, print thrice? Three-dimensional printing of replacement parts. *Br J Radiol*. 2018;91(1083):20170374. Doi: [10.1259/bjr.20170374](https://doi.org/10.1259/bjr.20170374).

34. Thorburn C, *et al.* Three-dimensional printing for assessment of paravalvular leak in transcatheter aortic valve implantation. *J Cardiothorac Surg*. 2020;15(211):1-5. Doi: <https://doi.org/10.1186/s13019-020-01255-3>.

35. Arndt ÂBM, Telles JL, Kowalski SC. O custo direto da fratura de fêmur por quedas em pessoas idosas: análise no setor privado de saúde na cidade de

Meirelles GPS, Bomtempo SV, Benito LAO

Brasília, 2009. Rev bras geriatr gerontol. 2011;14(2):221-231. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1809-98232011000200004>.

36. Ferreira LCV, Anastácio R, Milagre ST. XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica (CBEB 2014). Estudo comparativo de efetividade e custo das próteses de ATQ utilizando UHMWPE e cabeça femoral de metal e UHMWPE tipo cross-link e cabeça femoral de cerâmica. 2014. 4p. Disponível em: [[https://www.canal6.com.br/cbeb/2014/artigos/cbeb2014\\_submission\\_342.pdf](https://www.canal6.com.br/cbeb/2014/artigos/cbeb2014_submission_342.pdf)]. Acesso em: 05 out 2023.

37. Organização Mundial da Saúde. Envelhecimento ativo: uma política de saúde. Brasília: OPAS, 2005. 60p.

38. Zheng W, *et al*. The feasibility of 3D printing technology on the treatment of pilon fracture and its effect on doctor-patient communication. Biomed Res Int. 2018.2018:8054698. Doi: [10.1155/2018/8054698](https://doi.org/10.1155/2018/8054698).

39. Lindman BR, Dweck MR, Lancellotti P, Génereux P, Piérard LA, O'Gara PT, Bonow RO. Management of asymptomatic severe aortic stenosis: Evolving concepts in timing of valve replacement. JACC Cardiovascular Imaging. 2020; 13(2 Pt 1):481-493. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2019.01.036>.

40. Milano EG, Capelli C, Wray J, Biffi B, Layton S, Lee M, Caputo M, Taylor AM, Schievano S, Biglino G. Current and future applications of 3D printing in congenital cardiology and cardiac surgery. Br J Radiol. 2019;92(1094):20180389. Doi: [10.1259/bjr.20180389](https://doi.org/10.1259/bjr.20180389).

41. Soares DS, Mello LM de, Silva AS da, Martinez EZ, Nunes AA. Fraturas de fêmur em idosos no Brasil: análise espaço-temporal de 2008 a 2012. Cad Saúde Pública. 2014;30(12):2669-2678. Doi: <https://doi.org/10.1590/0102-311X00218113>.

42. *Biolife4D*. Available in: [<https://biolife4d.com/>]. Access at: 05 oct. 2023.

43. Silva JCA, Ribeiro MDA, Silva LN, Pinheiro HA, Bezerra LMA, Oliveira SB. Fraturas de fêmur em idosos nas diferentes regiões do Brasil de 2015 a 2020: análise dos custos, tempo de internação e total de óbitos. Rev Pesqui Fisioter. 2021;11(4):798-806. Doi: <http://dx.doi.org/10.17267/2238-2704rpf.v11i4.4168>.

44. Amazon.com.br. Impressora 3-D. Disponível em: [[https://www.amazon.com.br/s?k=impressora+3d&mk\\_pt\\_BR=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=3AC62LY9JSM1I&sprefix=impressora+3d%2Caps%2C3%90&ref=nb\\_sb\\_noss\\_1](https://www.amazon.com.br/s?k=impressora+3d&mk_pt_BR=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=3AC62LY9JSM1I&sprefix=impressora+3d%2Caps%2C3%90&ref=nb_sb_noss_1)]. Acesso em: 4 abr. 2023.

45. Markets and Markets. Home. Press Releases. 3D Printing Industry worth \$34.5 billion by 2028. Available in: [<https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/3d-printing.asp>]. Access at: 25 dez 2023.

46. Matozinhos I, *et al*. Impressão 3D: Inovações no campo da medicina. Revista Interdisciplinar Ciências Médicas.2017;1(1):143-162.

Meirelles GPS, Bomtempo SV, Benito LAO

47. Mourav G, *et al.* Usos e aplicações da impressão 3d: das indústrias aos lares. *Cadernos de Estudos Interdisciplinares*. 2023;5(1):31-36.
48. Beaglehole R, Yach D. Globalisation and the prevention and control of non-communicable disease: the neglected chronic diseases of adults. *Lancet*. 2003;362(9387):903-908. Doi: [10.1016/S0140-6736\(03\)14335-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(03)14335-8).
49. R7.com. Notícias. JR da TV. Prédio inteiro é construído com impressora 3D na Alemanha. 28 nov 2020. Disponível em: [<https://noticias.r7.com/jr-na-tv/videos/predio-inteiro-e-construido-com-impressora-3d-na-alemanha-05062022>]. Acesso em: 25 mar 2023.
50. Silva RV, *et al.* The use of hydroxyapatite and autogenous cancellous bone grafts to repair bone defects in rats. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2005;34(2):178-184. Doi: [10.1016/j.ijom.2004.06.005](https://doi.org/10.1016/j.ijom.2004.06.005).
51. Tabata Y. Biomaterial technology for tissue engineering applications. *J. R. Soc. Interface*. 2009. 6S311-S324. Doi: <http://doi.org/10.1098/rsif.2008.0448.focus>.
52. Abe KC, Miraglia SGEK. Avaliação de Impacto à Saúde (AIS) no Brasil e América Latina: uma ferramenta essencial a projetos, planos e políticas. *Interface*. 2018;22(65):349-358. Doi: <https://doi.org/10.1590/1807-57622016.0802>.
53. Silva LS da. Análise histomorfométrica da interface do parafuso expansor com o tecido ósseo. 2007. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2007. Acesso em: 25 dez 2023.

**Autor de Correspondência**

Lincoln Agudo Oliveira Benito  
SEPN 707/907, Via W 5 Norte, Campus  
Universitário. CEP: 70790-075. Asa Norte.  
Brasília, Distrito Federal, Brasil.  
[linconbenito@yahoo.com.br](mailto:linconbenito@yahoo.com.br)

**Anexo 08 – Comprovante de aceite de resumo submetido para o 26º Congresso Brasileiro dos Conselhos de Enfermagem (26º CBCENF):**



## **DECLARAÇÃO**

Declaramos para os devidos fins que o trabalho IMPRESSÃO DE OSSOS E DE ESTRUTURAS ANATÔMICAS EM 3-D PARA TRATAMENTO DE FRATURAS EM IDOSOS está com a situação **ACEITO** para apresentação no Congresso Brasileiro dos Conselhos de Enfermagem - 26º CBCENF.

Relator: Fabricio Werner Brenneke Martins

Autor(es): Cassiana Marinho Melo e Linconl Agudo Oliveira Benito

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Aurilene", is centered on the page.

Aurilene Josefa Cartaxo de Arruda Cavalcanti

Coordenadora da Comissão Científica -



**26º CBCENF**  
RECIFE • PERNAMBUCO • 2024

