



## **Biomimética como fundamento para a impressão 3D: Aplicação no planejamento cirúrgico ortopédico veterinário.**

### ***Biomimetics as a Foundation for 3D Printing: Application in Veterinary Orthopedic Surgical Planning.***

**Giulia Doti de Souza, Graduada em Medicina Veterinária, UFMG .**

giuliadoti.12@gmail.com

**Cynara Fiedler Bremer, Professora da Escola de Arquitetura UFMG.**

cynarafiedlerbremer@ufmg.br

Número da sessão temática da submissão – [5]

#### **Resumo**

Entende-se por Biomimética a ciência que se inspira na natureza para desenvolver soluções para demandas sociais. Na Medicina Veterinária, pode ser aplicada por meio da Impressão 3D e da Prototipagem Rápida (PR), auxiliando no planejamento cirúrgico de afecções ortopédicas em animais de companhia, ao permitir melhor visualização de lesões, fraturas e deformidades ósseas. Este estudo objetivou confeccionar biomodelos de peças ósseas comprometidas a partir de imagens de Tomografia Computadorizada (TC). Utilizou-se uma cadela com fratura proximal de tibia e fíbula e luxação de patela. As imagens de TC foram segmentadas no software Horus, convertidas em STL e refinadas no Meshmixer. Em seguida, os arquivos foram exportados para o PrusaSlicer e impressos em ABS por Modelagem por Deposição Fundida (FDM), na impressora Original Prusa i3 MK3. Obtiveram-se dois modelos, um da tibia e fíbula e outro do fêmur, usados no treinamento pré-operatório, preservando características anatômicas. A técnica contribuiu para maior precisão cirúrgica, redução do tempo operatório e melhor prognóstico, evidenciando a Impressão 3D como aplicação prática da Biomimética na Medicina Veterinária.

**Palavras-chave:** Biomimética; Prototipagem; Impressão 3D; Veterinária; Cirurgia

#### ***Abstract***

Biomimetics is understood as the science inspired by nature to develop solutions for societal demands. In Veterinary Medicine, it can be applied through 3D Printing and Rapid Prototyping (RP), assisting in the surgical planning of orthopedic conditions in companion animals by enabling better visualization of lesions, fractures, and bone deformities. This study aimed to create biomodels of compromised bone structures from Computed Tomography (CT) images. A female dog with a proximal tibia and fibula fracture and patellar luxation was used. The CT images were segmented using the Horus software, converted to STL format, and refined in Meshmixer. The files were then exported to PrusaSlicer and printed in ABS using Fused Deposition Modeling (FDM) on the Original Prusa i3 MK3 printer. Two models were obtained: one of the tibia and fibula and another of the femur, used for preoperative training while preserving anatomical features. The technique contributed to greater surgical precision, reduced operative time, and improved prognosis, highlighting 3D Printing as a practical application of Biomimetics in Veterinary Medicine.

**Keywords:** *Biomimicry; Prototyping; 3D printing; Veterinary; Surgery*



## 1. Introdução

O entendimento acerca do funcionamento dos processos intrínsecos da natureza, assim como dos seres vivos que a habitam é a base da biomimética. Essa ciência baseia-se na natureza como fonte de inspiração para a criação de inovações que auxiliem na resolução das entraves enfrentadas pelos seres humanos em muitos campos do conhecimento. Em relação à etimologia da palavra, do grego *bios* significa vida e *mimesis* imitação, assim sendo, a partir dessa linha de pesquisa os criadores deixaram de focar no que se pode extrair da natureza, valorizando, primeiramente, o que se pode aprender com ela (3).

Diversas são as áreas de aplicação dessa ciência, com destaque importante para as engenharias, a arquitetura e o design. Além disso, se expande para o campo médico e odontológico, assim como o médico veterinário, com as inovações de prótese, órtese e peças anatômicas para planejamento cirúrgico. Esses últimos feitos foram aperfeiçoados a partir da aplicação da biomimética com as tecnologias desenvolvidas pela Engenharia Reversa, a qual visa minimizar o tempo de confecção de peças com base em uma representação geométrica CAD (*Computer-Aided-Design*), que pode ser adquirida pela digitalização de peças previamente existentes ou por um exemplar desenvolvido no computador (15).

A Manufatura Aditiva (MA), comumente conhecida por Impressão em três dimensões (3D), por sua vez, é um método de fabricação altamente tecnológico aplicado pela Engenharia Reversa, em que uma peça é fabricada por meio da deposição em camadas de um material, a partir de um modelo CAD e engloba diferentes técnicas e materiais (9). Dentre as técnicas destaca-se o modelo FDM (Modelagem de Deposição Fundida), em que um filamento termoplástico é aquecido, fundido e depositado em múltiplas camadas vezes até formar o objeto almejado (12, 15).

A FDM é um processo aplicado para a impressão em 3D, a depender do tipo de máquina e tem relevância especial na área médica, por ser utilizada com alta frequência na obtenção de modelos para treinamento de práticas cirúrgicas, guias cirúrgicos e fabricação de próteses e órteses, que se adaptam às particularidades de cada animal (16). O estudo objetivou aplicar a Biomimética através da tecnologia de Impressão em 3D como ferramenta para a confecção de réplica anatômica para o planejamento cirúrgico veterinário.

### 1.1 Biomimética

Sob a visão de Janine Benyus, escritora que cunhou o termo "Biomimética" na atualidade, após anos de evolução a natureza contém o conhecimento do que funciona, do que é apropriado e do que dura e, por isso, para os modelos criados a partir dessa área de estudo, os elementos da esfera natural devem ser postulados como modelos, medidas e mentores (3). Nesse viés, inúmeras áreas do conhecimento aplicam os princípios dessa ciência para a execução e criação de projetos e inovações (6). No site "*AskNature*" criado pelo Instituto de Biomimética (Biomimicry Institute) é possível a visualização de diversas criações modernas que são baseadas em plantas, animais e fungos, de modo que essa ferramenta foi desenvolvida com o intuito de auxiliar e estimular o processo de desenvolvimento de designs biomiméticos (2).

As inovações apresentadas no programa distribuem-se em vários campos, com destaque na área de medicina e biotecnologia, totalizando quarenta e quatro invenções, antecedendo apenas o setor de materiais, com cento e treze produtos (2). Um importante avanço evidenciado foi o desenvolvimento de biotinta composta por ácido hialurônico para a



impressão em 3D de *scaffolds*, estruturas que interagem bioquímica e fisicamente com as células, proporcionando o crescimento de tecidos, os quais podem ser utilizados para reparar ou substituir áreas anatômicas com danos. Assim, a partir de conhecimentos citológicos, histológicos e bioquímicos pôde-se desenvolver um modelo de tinta mais compatível com as necessidades demandadas e com menor custo (2,7,6).

Percebe-se que o embasamento nos fundamentos anatômicos e fisiológicos animais e humanos para o desenvolvimento de inovações na área médica, configura-se um processo integrante da biomimética.

## 1.2 Impressão 3D

A impressão em 3D surgiu em 1984 nos Estados Unidos, assinada por Charles Hull e, desde então, transformou múltiplos setores da sociedade (21). As impressoras 3D garantem uma rápida capacidade de prototipagem sem a necessidade de modelagem manual das peças, o que assegura eficiência de produção e, ainda, maior valor de precisão (10).

Existem no mercado diversas tecnologias de Impressão 3D, as quais são designadas para objetivos diferentes, havendo distinção em seus processos produtivos e nos materiais utilizados (10). A impressora de FDM foi criada pela empresa © *Stratasys* e é o segundo tipo mais utilizado de Impressão 3D, ficando atrás apenas do tipo estereolitografia, patenteada por Hull (3). Os materiais utilizados, que dependem do tipo de impressora, podem ser plásticos, metais, argila, papel com aspecto de madeira, dentre outros, de modo que na técnica FDM são utilizados filamentos termoplásticos, materiais plásticos que, ao atingirem uma temperatura de transição vítrea, podem ser remodelados (14, 8).

Cada tipo de polímero atende a um propósito de produção particular, sendo os mais comuns o ABS (acrilonitrila butadieno estireno), PLA (ácido polilático), PC (policarbonato), Nylon e PETG (Polietileno Tereftalato Glicol), os quais compartilham a vantagem comercial de possuírem baixo custo, baixo peso e facilidade de processamento (10,18, 20).

Diversas são as aplicabilidades da MA nos setores, servindo como ferramenta para a produção de protótipos rápidos e, também, de objetos finais para uso e comercialização, como na marinha americana, que possui impressoras 3D para repor peças quebradas em navios de guerra em alto mar e as empresas aeroespaciais que utilizam essa tecnologia para a produção de equipamentos da aviação, visando reduzir o tempo de fabricação das peças e reduzir o peso do avião (2).

## 1.3 Planejamento Cirúrgico Ortopédico

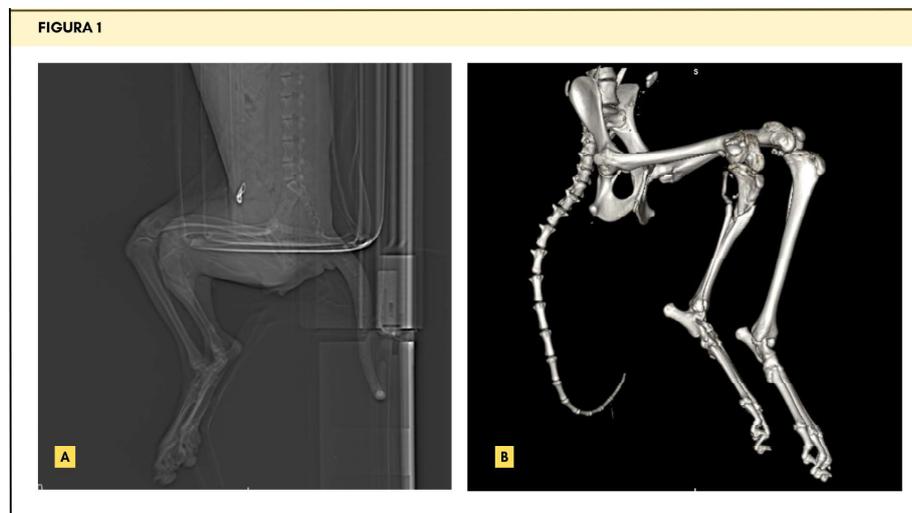
As afecções ortopédicas possuem uma alta casuística em animais de companhia e vida livre, sendo as mais comuns em cachorros domésticos as fraturas de ossos longos, deformidades genéticas e luxação articular (19, 21, 5). Para essas patologias, o uso de exames complementares como Radiografia e Tomografia Computadorizada (TC) são imprescindíveis para os seus diagnósticos precisos, mas se limitam por não garantirem uma visão espacial completa, uma vez que fornecem imagens em duas dimensões (2D). Dessa forma, a partir das novas modalidades tecnológicas, tornou-se possível a conversão de imagens 2D fornecidas por Radiografias, Tomografias e Ressonâncias Magnéticas em imagens 3D, garantindo uma visualização superior das relações anatômicas das estruturas e possuem diversas aplicações (1).

Na Medicina Veterinária, uma das principais aplicabilidades da Impressão 3D a partir de exames de imagem é a Prototipagem Rápida (PR), que é uma abordagem que auxilia na visualização mais precisa das lesões, fraturas, deformidades e processos degenerativos nos ossos. De modo geral, essas imagens 3D são trabalhadas em softwares e convertidas em arquivos STL (estereolitografia), para posterior impressão (12). Assim, possibilita ao cirurgião um planejamento prévio da operação, melhorando a precisão da correção e diminuindo o tempo de cirurgia, o que favorece o prognóstico do animal (17). Desse modo, a posição, a direção, a linha de corte e a fixação de materiais podem ser definidos com o uso desses modelos (13). Ademais, cirurgias nunca antes realizadas, podem também se beneficiar dessa técnica, assim como estudantes, que podem preparar-se antes, podendo, posteriormente, enfrentar o desafio maior com mais confiança, acurácia e destreza (1).

Uma outra maneira de aplicação da PR é percebida com a modelagem em softwares de guias cirúrgicos para subsequente impressão, os quais funcionam como encaixes personalizados na peça óssea a ser operada, em especial na coluna vertebral, dando um exato direcionamento dos pontos de entrada dos parafusos e a trajetória que eles irão seguir. Essa tecnologia vem se tornando fundamental nas cirurgias espinhais, por evitarem complicações que podem ser ocasionadas pela imprecisão de fixação do material, que além de não garantir a estabilização visada, pode causar, por exemplo, lesões de medula e perfuração de veias e artérias, podendo resultar em danos neurológicos e até mesmo, morte (13).

## 2. Procedimentos Metodológicos

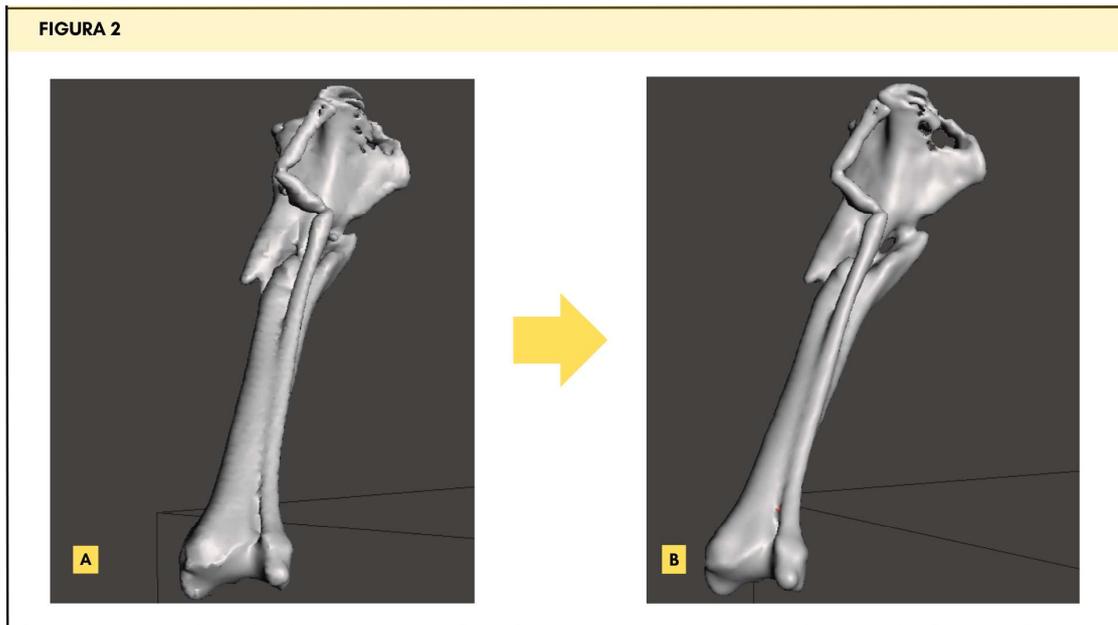
Para a confecção de peças anatômicas para planejamento cirúrgico utilizou-se como modelo um cachorro doméstico, fêmea, sem raça definida (SRD), com deformidades ósseas associadas a fratura proximal de tíbia e fíbula, além de luxação patelar. Assim, foram fornecidas à pesquisa as imagens em formato DICOM (Comunicação de Imagens Digitais na Medicina) da tomografia computadorizada dos membros pélvicos do animal. O arquivo foi aberto no software © *Horos*, no qual a imagem foi convertida para o modelo 3D, por intermédio da opção da configuração de renderização de superfície 3D e foi, posteriormente, salvo em formato STL, que é compatível com a impressão 3D. Na Figura 1 apresenta-se a imagem em formato DICOM e a imagem em formato 3D, após o processamento no software © *Horos*.



**Figura 1.** A: Topograma dos membros pélvicos de uma cadela, obtido por tomografia computadorizada (TC). Fonte: SCAN Medicina Veterinária Diagnóstica. B:

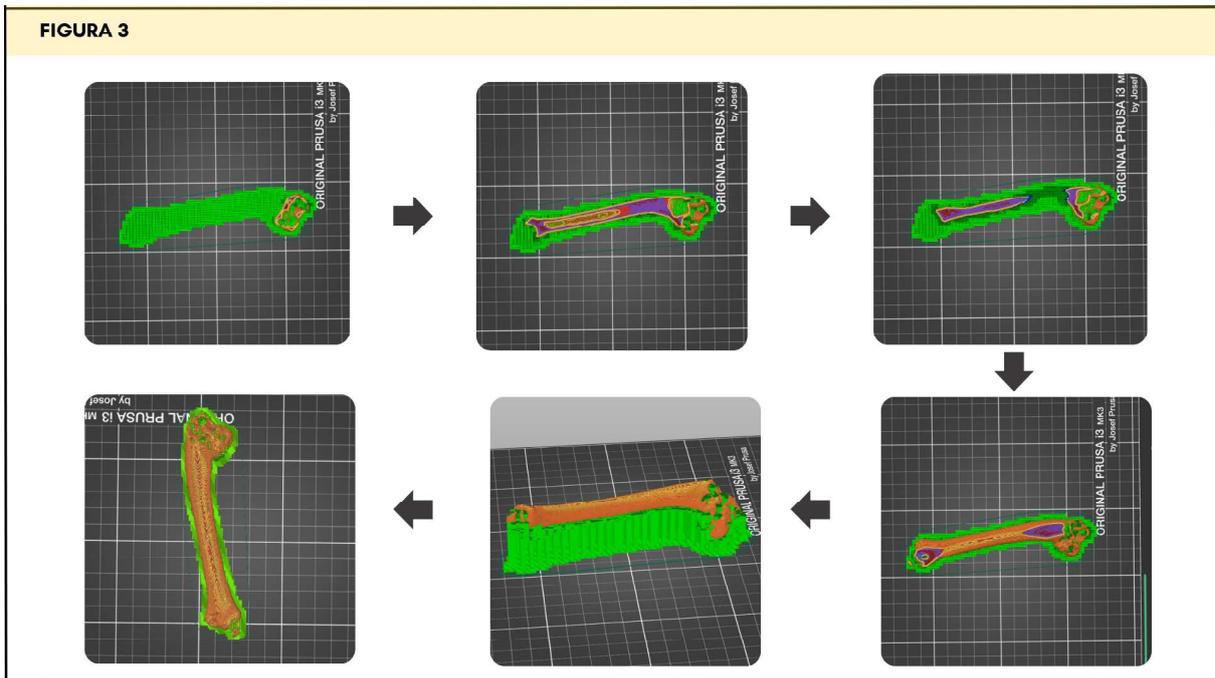
Tridimensionalização da imagem obtida por TC através do software Horos. Fonte: elaborado pelo autor.

O arquivo em STL, foi, então, aberto no software © *Meshmixer*, em que foram selecionados e apagados os segmentos ósseos que não seriam usados no estudo, deixando apenas o fêmur direito, a tíbia direita e a fíbula direita. No mesmo programa, foram feitos ajustes de suavização da superfície e preenchimento de buracos ocasionados no momento da separação das peças ósseas. Na Figura 2 é mostrada a imagem do fêmur no software © *Meshmixer* antes e depois do processo de uniformização de sua face exterior.

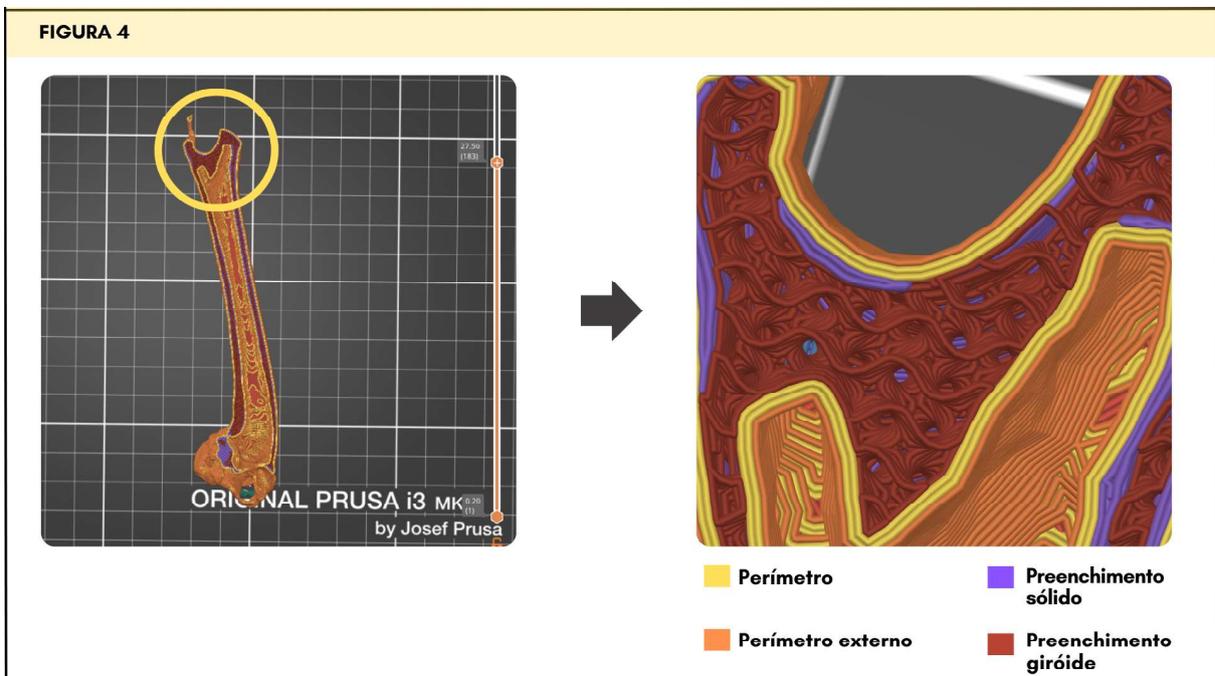


**Figura 2. A:** Tíbia e Fíbula individualizadas após segmentação óssea no programa *Meshmixer*. **B:** Tíbia e Fíbula após suavização de superfície no programa *Meshmixer*. Fonte: elaborado pelo autor.

Em seguida, a imagem do fêmur e da tíbia e fíbula foram salvas separadamente em STL *binary format* e, por fim, carregadas no software © *PrusaSlicer*, no qual foram feitos os ajustes de impressão. Para ambas as peças, optou-se pela configuração com perímetro de camada no valor 3 e 0,15 mm de altura de camada. Para as camadas de topo e as camadas de base, ajustou-se em 5. Ainda, o preenchimento da peça foi de 20% do tipo giróide, em que se tem um melhor preenchimento do espaço interno, sem comprometimento da modelagem. Por fim, foi adicionado um suporte para a confecção, por se tratar de peças que não se apresentam niveladas com o plano da mesa da impressora. Esse suporte é impresso primeiro, de modo que o objeto principal de impressão apoia-se sobre ele durante a deposição do material fundido. Na Figura 3 é possível a visualização da ordem de impressão do protótipo do fêmur projetada pelo software © *PrusaSlicer*. Ainda, na Figura 4 percebem-se as múltiplas camadas que são estruturadas em um objeto impresso em 3D.

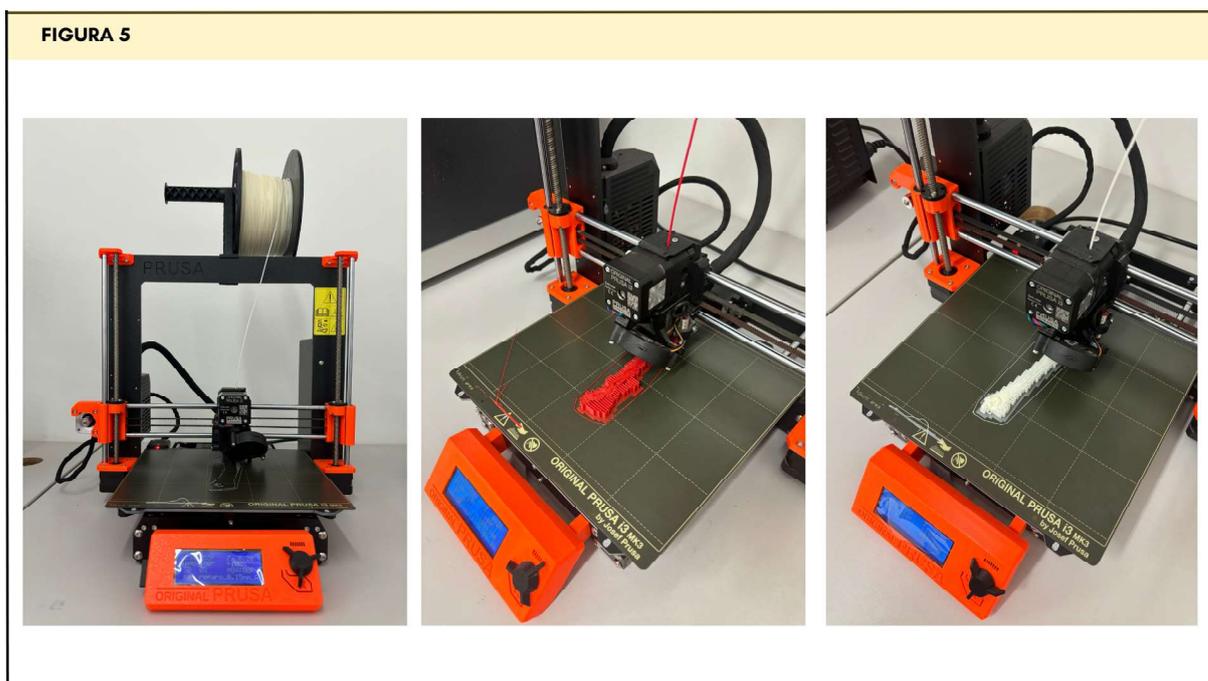


**Figura 3.** Etapas do processo de impressão do protótipo de fêmur canino simuladas pelo software © PrusaSlicer. Em verde nota-se o suporte da peça e em laranja o perímetro externo da peça. Fonte: elaborado pelo autor.



**Figura 4.** Diferentes camadas construídas nos processos de impressão. Em vermelho nota-se o preenchimento do tipo giróide. Fonte: elaborado pelo autor.

Após os ajustes finais no software © *PrusaSlicer*, os arquivos foram salvos em cartões de memória e inseridos nas impressoras do tipo Original Prusa i3 MK3 para a fabricação das peças. A peça réplica do fêmur foi impressa em uma unidade e a da tíbia e fíbula em outra, levando 2 horas e 40 minutos e 3 horas e 40 minutos, respectivamente, para a conclusão do processo. A impressão foi feita em parceria com o Laboratório de Experimentação Tridimensional (LET) da Escola de Arquitetura da UFMG e o material escolhido foi o termoplástico do tipo ABS (acrilonitrila butadieno estireno), o qual possui vantagens de produção, uma vez que possui baixo custo, é resistente, leve e suporta variações extremas de temperatura (11). Percebe-se na figura 5 o início da etapa de impressão dos protótipos.



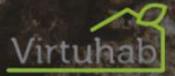
**Figura 5.** Início do processo de impressão das peças na impressora Original Prusa i3 MK3. Em branco: protótipo do fêmur e em vermelho: protótipo da tíbia e da fíbula. Fonte: elaborado pelo autor.

### 3. Aplicações e/ou Resultados

Foram produzidos dois biomodelos de peças ósseas, um da tíbia e da fíbula, impresso em material ABS vermelho e outro do fêmur, impresso em material ABS branco. Ambos os exemplares preservaram as características ósseas necessárias para o planejamento cirúrgico, servindo como base de estudo preliminar antes da intervenção cirúrgica propriamente dita, possibilitando maior precisão nas correções necessárias ao animal.

### 4. Discussões

A aplicação da biomimética por meio da Impressão 3D no planejamento cirúrgico veterinário, conforme apresentado neste estudo, demonstra um avanço significativo na medicina veterinária, especialmente na área ortopédica. A tridimensionalização de estruturas anatômicas a partir de exames de imagem, como a tomografia computadorizada, permite não



apenas uma visualização mais precisa das lesões e deformidades, mas também proporciona ao cirurgião uma experiência prévia à intervenção, contribuindo para a acurácia do procedimento e a segurança do paciente.

O uso de biomodelos físicos, como os produzidos neste estudo, vai além do treinamento cirúrgico. Eles favorecem a antecipação de desafios intraoperatórios, a escolha de abordagens menos invasivas e a personalização de materiais de osteossíntese, além de reduzir o tempo cirúrgico, fator diretamente ligado à redução de riscos anestésicos e à melhora no prognóstico. Estudos semelhantes já demonstraram que a utilização de prototipagem rápida melhora significativamente os desfechos clínicos e a recuperação dos pacientes.

Apesar dos benefícios evidentes, alguns desafios ainda se impõem à disseminação dessa prática na rotina clínica. Entre eles, destacam-se os custos relacionados aos equipamentos e materiais, a necessidade de capacitação técnica para o manuseio dos softwares de segmentação e impressão, e o tempo de preparação dos modelos, que ainda pode ser incompatível com casos emergenciais. Ainda assim, o custo-benefício da impressão 3D, especialmente com materiais como o ABS, tem se mostrado favorável frente à melhoria dos resultados clínicos.

Além disso, observa-se que a interdisciplinaridade entre áreas como medicina veterinária, engenharia e arquitetura, como evidenciado na parceria com o Laboratório de Experimentação Tridimensional (LET/UFMG), potencializa o desenvolvimento e a inovação na prática clínica, ampliando as possibilidades de uso da tecnologia na personalização do atendimento veterinário.

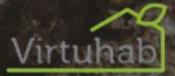
Assim, este estudo reforça a viabilidade e a relevância da impressão 3D como ferramenta biomimética no campo veterinário, abrindo caminho para novas aplicações como a fabricação de guias cirúrgicos, próteses customizadas e dispositivos de ensino anatômico.

## 5. Considerações Finais

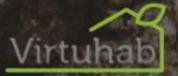
A Impressão 3D de peças ósseas para planejamento de cirurgias configura-se um processo de aplicação da biomimética, uma vez que se fundamenta na anatomia animal para a inovação de técnicas e recursos na área médica. Os biomodelos propostos foram produzidos com êxito, mediante um processo metódico e sistemático de processamento de imagem, viabilizando o treinamento pré-operatório. A importância desta etapa reside em melhorar as manobras cirúrgicas e a precisão das correções necessárias, além de reduzir o tempo da cirurgia, o que favorece o prognóstico do animal. É fundamental salientar que a Impressão 3D não se limita apenas ao refinamento nas abordagens cirúrgicas com protótipos, podendo ser utilizada para a impressão de guias cirúrgicos, próteses e órteses sob medida, ferraduras terapêuticas em equinos, modelos anatômicos para ensino, além de outras aplicabilidades. Dessa forma, é notória a importância da adesão de tecnologias da Engenharia Reversa ao campo da Medicina Veterinária, proporcionando uma melhor individualização do suporte clínico e cirúrgico aos pacientes.

## Referências

1. ALTWAL, J.; WILSON, C. H.; GRIFFON, D. J. Applications of 3-dimensional printing in small-animal surgery: a review of current practices. *Veterinary Surgery*, v. 51, n. 1, p. 34-51, 2022.



2. AskNature. Disponível em: <https://asknature.org/collections>. Acesso em: 10 nov. 2024.
3. BENYUS, Janine M. Biomimética: inovação inspirada pela natureza. 1. ed. São Paulo: Cultrix, 2003.
4. CAMPOS, Luan Victor Diniz. Avaliação do efeito do nível e do tipo de preenchimento nas propriedades mecânicas de corpos de prova fabricados por impressão 3D utilizando o material ABS. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, 2022.
5. CASTRO, Patrícia F.; FANTONI, Denise T.; MATERA, Julia M. Estudo retrospectivo de afecções cirúrgicas em aves. Pesquisa Veterinária Brasileira, v. 33, n. 5, p. 662-668, 2013.
6. CHEN, H.; XUE, H.; ZENG, H.; et al. 3D printed scaffolds based on hyaluronic acid bioinks for tissue engineering: a review. Biomaterials Research, v. 27, n. 137, 2023.
7. GODESKY, Madison D.; SCHREIBER, David I. Hyaluronic acid-based hydrogels with independently tunable mechanical and bioactive signaling features. Bionterphases, v. 14, n. 6, 2019.
8. HASSAN, Shabir; HEINRICH, Marcel; CECEN, Berivan; PRAKASH, Jai; ZHANG, Yu Shrike. Biomaterials for on-chip organ systems. Biomaterials for Organ and Tissue Regeneration, v. p. 669-707, 2020.
9. LURIE-LUKE, Elena. Product and technology innovation: what can biomimicry inspire? Biotechnology Advances, v. 32, n. 8, p. 1494-505, 2014. doi: 10.1016/j.biotechadv.2014.10.002.
10. MWEMA, F. M.; AKINLABI, E. T. Basics of fused deposition modeling (FDM). Fused deposition modeling. Springer, p. 1-15, 2020.
11. OSEJO, J. V. Molina. Caracterización de materiales termoplásticos de ABS y PLA semi-rígido impresos en 3D con cinco mallados internos diferentes. Quito: EPN, 2016.
12. PANIAGO, Mateus Sarmet. Aplicabilidade da tecnologia de manufatura aditiva (impressão 3D) na cirurgia veterinária. Trabalho de conclusão de curso de graduação – Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília, 2022.
13. PETZOLD, R.; ZEILHOFER, H.-F.; KALENDER, W. A. Rapid prototyping technology in medicine—basics and applications. Computerized Medical Imaging and Graphics, v. 23, n. 5, p. 277-284, 1999.
14. PORTO, Thomás Monteiro Sobrino. Estudo dos avanços da tecnologia de impressão 3D e da sua aplicação na construção civil. 2016. Projeto de Graduação (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2016. Orientador: Jorge Santos.
15. RAJA, Vinesh; FERNANDES, Kiran J. Reverse engineering: an industrial perspective. Londres: Springer-Verlag, 2008.
16. SANTOS, Marcelo Augusto Rozan dos; TOKIMATSU, Ruís Camargo. Produção de órteses personalizadas com baixo custo através das tecnologias engenharia reversa e manufatura aditiva. In: 13º CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 2017. Portugal, 2017.
17. SENKOYLU, A.; DALDAL, I.; CETINKAYA, M. 3D printing and spine surgery. Journal of Orthopaedic Surgery, v. 28, n. 2, 2020.
18. SHAHRUBUDIN, N.; LEE, T. C.; RAMLAN, R. An overview on 3D printing technology: technological, materials, and applications. Procedia Manufacturing, v. 35, p. 1286-1296, 2019.



19. SOUZA, M. M. D.; RAHAL, S. C.; PADOVANI, C. R.; MAMPRIM, M. J.; CAVINIL, J. H. Afecções ortopédicas dos membros pélvicos em cães: estudo retrospectivo. *Ciência Rural*, v. 41, n. 5, p. 852-857, 2011.
20. VOLPATO, Neri. *Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D*. 1. impressão digital. São Paulo: Editora Edgar Blucher Ltda, 2018. Capítulo 1 (Introdução à Manufatura Aditiva ou Impressão 3D) - Jonas de Carvalho.
21. WHITAKER, Matthew. The history of 3D printing in healthcare. *The Bulletin of the Royal College of Surgeons of England*, v. 96, n. 7, p. 228-229, 2014.