



SEI-SICITE 2021

Pesquisa e Extensão para um mundo em transformação

Produção de modelos anatômicos para o ensino de anatomia animal

Production of anatomical models for teaching animal anatomy

Gabrielle Biesdorf dos Santos*, José Aguiomar Foggiatto[†],
Felipe Mateus Franco[‡], Bruno Benegra Denadai^{††}, Carolina Pulido Arce[§],
Marcello Machado[¶], Maria Fernanda Pioli Torres[‡]

RESUMO

O ensino tradicional de Anatomia requer a utilização de peças cadavéricas e comumente enfrenta dificuldades relacionadas à sua obtenção, conservação e manutenção. Nesse sentido, a manufatura aditiva, conhecida como impressão 3D, é uma tecnologia capaz de produzir modelos sintéticos a partir de estruturas anatômicas reais. O objetivo deste trabalho foi desenvolver modelos anatômicos por modelagem e impressão 3D. Foram utilizadas tomografias computadorizadas de um estômago de ovino e de abdome de cão. As reconstruções das imagens foram realizadas a partir dos arquivos DICOM nos *softwares* InVesalius[®] e Mimics[®], respectivamente. Foram definidos três modelos didáticos de estômago e um de sistema urinário. Os modelos 3D foram importados no formato STL pelo software Meshmixer[®] onde a malha foi corrigida e modelada. Os modelos de estômago foram definidos considerando-se os objetivos didáticos e impressos em PLA (ácido polilático) com dimensões reduzidas com corte sagital, com abertura lateral em ABS (acrilonitrila-butadieno-estireno) e sem abertura para visualização da anatomia externa em resina acrílica. O modelo de sistema urinário teve rins e vascularização impressos em PLA e vesícula urinária em TPU (poliuretano termoplástico). Os modelos impressos reproduziram satisfatoriamente a anatomia e serão empregados como recursos didáticos em aulas práticas de anatomia dos animais domésticos da UFPR.

Palavras-chave: Anatomia, Impressão 3D, Modelos anatômicos.

ABSTRACT

The traditional teaching of Anatomy requires the use of cadaveric pieces and commonly faces difficulties related to their acquisition, conservation and maintenance. In this sense, additive manufacturing, known as 3D printing, is a technology capable of producing synthetic models from real anatomical structures. The objective of this study was to develop anatomical models by modeling and 3D printing. Computed tomographies of a sheep stomach and dog abdomen were used. Image reconstructions were performed using DICOM files in InVesalius[®] and Mimics[®] softwares, respectively. Three didactic models of the stomach and one of the urinary system were defined. The 3D models were imported in STL format by the Meshmixer[®] software where the mesh was corrected and modeled. The stomach models were defined considering the didactic objectives and printed with reduced dimensions with a sagittal cut in PLA (polylactic acid), with a lateral opening in ABS (acrylonitrile-butadiene-styrene) and no opening, for visualization of the external anatomy, in acrylic resin. The urinary system model had kidneys and vascularization in PLA and urinary vesicle in TPU (thermoplastic polyurethane). The printed models satisfactorily reproduced the anatomy and will be used as teaching resources in practical classes on the anatomy of domestic animals at UFPR.

Keywords: Anatomy, 3D printing, Anatomical models.

* Técnico Integrado em Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil; biesdorfgabrielle@gmail.com

[†] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ecoville, Curitiba, Paraná, Brasil, foggiatto@utfpr.edu.br

[‡] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ecoville, Curitiba, Paraná, Brasil, felipef@alunos.utfpr.edu.br

^{††} Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ecoville, Curitiba, Paraná, Brasil, bruno.2000@alunos.utfpr.edu.br

[§] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ecoville, Curitiba, Paraná, Brasil, carolinaarce@alunos.utfpr.edu.br

[¶] Universidade Federal do Paraná, Centro Politécnico, Curitiba, Paraná, Brasil, marcellozmachado@gmail.com

[‡] Universidade Federal do Paraná, Centro Politécnico, Curitiba, Paraná, Brasil, torres.fernanda88@gmail.com



1 INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva (AM), também conhecida como impressão tridimensional (3D), é uma tecnologia em constante evolução desde a sua criação em 1980 e, a cada ano, os modelos anatômicos produzidos por AM a partir de estruturas reais têm se tornado opções didáticas para o ensino, favorecendo o processo de ensino-aprendizagem pois permitem a criação de modelos didáticos realísticos (GARCIA *et al.*, 2018; NIBBLETT *et al.*, 2017).

A aquisição de imagens por tomografia e ressonância magnética permite a impressão de modelos anatômicos com excepcional fidelidade (NIBBLETT *et al.*, 2017). Aliado a isso, o desenvolvimento de filamentos flexíveis permite a criação de modelos didáticos similares às estruturas biológicas, tais como cartilagens. Alguns estudos revelaram menores diferenças anatômicas entre os exemplares originais e modelos impressos quando comparados a reconstruções tridimensionais digitais (LI *et al.*, 2018).

O ensino tradicional de Anatomia requer a utilização de peças cadavéricas e muitas vezes depara-se com problemática referente à obtenção, conservação e manutenção dos materiais de aula prática (MOGALI *et al.*, 2018). O propósito de utilizar cadáveres para o ensino de anatomia é facilitar a consolidação do conhecimento pelo estudante e a tecnologia vem favorecendo a combinação de novos recursos pedagógicos (GHOSH, 2017). Estudos indicam que abordagens multimodais para o ensino de anatomia apresentam vantagens sobre o uso exclusivo de dissecação e a inclusão de ferramentas 3D pode melhorar a retenção do conteúdo da anatomia (PETERSON; MLYNARCZYK, 2016).

A utilização de modelos 3D tanto no ensino de Anatomia Veterinária quanto Humana apresenta várias vantagens sobre os materiais convencionais, inclusive sobre os plastinados. Tais vantagens incluem baixo custo e facilidade para produção, redução do uso de animais e durabilidade (GHOSH, 2017). Somando-se a isto, modelos 3D aumentam a percepção espacial dos estudantes auxiliando no conhecimento das estruturas anatômicas e contribuindo decisivamente para o desenvolvimento de habilidades clínicas (LI *et al.*, 2018).

Este trabalho de Iniciação Científica teve como objetivo principal desenvolver modelos anatômicos para o ensino de anatomia dos animais domésticos por modelagem e impressão 3D no Núcleo de Manufatura Aditiva e Ferramental (NUFER) do Departamento Acadêmico de Mecânica da UTFPR-CT. Os modelos produzidos serão empregados como recursos didáticos em aulas práticas de anatomia animal do Departamento de Anatomia da Universidade Federal do Paraná (DANAT-UFPR).

2 MÉTODO

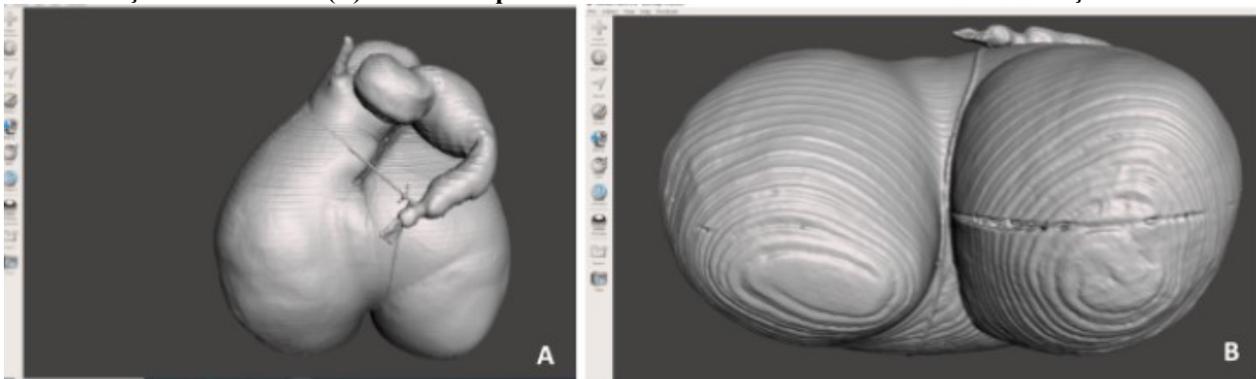
Essa pesquisa foi desenvolvida em duas etapas, na primeira foram utilizadas tomografias computadorizadas (TC) de um estômago de ovino e na segunda de um abdome de cão, ambas cedidas por clínicas veterinárias particulares da cidade de Curitiba. As reconstruções das imagens anatômicas foram realizadas a partir de arquivos DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*) obtidos por tomografia computadorizada (TC) que foram importados pelo software InVesalius[®] para a reconstrução do estômago de ovino e pelo software Materialise Mimics[®] para o abdome de cão.

Foram definidos 4 modelos didáticos, sendo 3 de estômago de pequeno ruminante e 1 de sistema urinário de cão que, neste caso, foi selecionado a partir da definição da densidade adequada para tecidos moles. Os rins, veias e artérias renais, vesícula urinária e uretra foram isolados utilizando-se ferramentas de edição e interpolação do Materialise Mimics[®].

O estômago de ovino foi previamente preparado no DANAT-UFPR com aplicação de poliuretano expansível nas suas cavidades e, após ressecado em ambiente natural do laboratório de técnicas anatômicas, foi tomografado para obtenção dos arquivos DICOM.

Foram definidos 3 modelos didáticos sendo dois abertos para permitir a visualização das cavidades e estruturas internas e um fechado para a visualização externa dos compartimentos rúmen, retículo, omaso e abomaso. O primeiro modelo foi seccionado no sentido sagital e dividido em metades direita e esquerda, o segundo foi aberto lateralmente e o terceiro foi mantido fechado para a visualização da superfície externa. Após a reconstrução 3D pelo software InVesalius[®], o modelo foi exportado no formato STL para o software Meshmixer[®], onde foram suavizadas as irregularidades da superfície externa, apagado o barbante que obliterava o esôfago e duodeno e fechadas as aberturas na malha a malha (Fig. 1). Posteriormente, o preenchimento de poliuretano foi removido e a parede do modelo foi engrossada aplicando-se um *offset* de 4 mm para fora.

Figura 1 – Superfície externa antes da suavização e correção dos defeitos da malha. (A) Vista lateral direita antes da remoção do barbante. (B) Vista da superfície externa dos sacos do rúmen antes da correção da malha.



Fonte: Autoria própria (2021).

O primeiro modelo foi dividido ao meio utilizando-se o recurso de corte *plane cut* e as bordas foram suavizadas e corrigidas com os pincéis do Meshmixer[®]. Na superfície interna foram modelados os sulcos e pilares do rúmen, os óstios esofágico, retículo-omasal, omaso-abomasal, sulco reticular e aberturas do esôfago e duodeno (Fig. 2). Após a modelagem das estruturas anatômicas internas foram inseridos dois encaixes para a união das duas metades do modelo impresso em PLA numa impressora Ender-5-Pro de acordo com os parâmetros apresentados na Tabela 1. No segundo modelo didático de estômago de ovino foram modelados o esôfago, óstios esofágico, retículo-omasal, omaso-abomasal e pilórico, além do toro pilórico e duodeno (Fig. 3). O modelo foi impresso na posição vertical com filamento de ABS na impressora Vantage I de acordo com os parâmetros apresentados na Tab. 1. O terceiro modelo didático do estômago do ovino foi impresso nas dimensões $x=44\text{mm}$, $y=70\text{mm}$ e $z=78\text{mm}$ em resina acrílica transparente na impressora Elegoo Mars.

A modelagem de sistema urinário de cão baseou-se na anatomia de um cão da raça Shih-tzu obtida por TC. Os arquivos DICOM foram importados pelo *software* Materialise Mimics[®] para a reconstrução do abdome e cavidade pélvica e isolamento dos rins, veias, artérias, vesícula urinária e uretra. O modelo 3D foi exportado no formato STL para o software MeshMixer 3.0 da Autodesk[®] Inc, onde a malha foi corrigida e modelada. Os rins, artérias e veias foram impressos em PLA branco na impressora Ender 5 Pro, enquanto a vesícula urinária foi impressa em TPU (dureza 65 shore A) na impressora Ender 3 Pro (Tab. 1).

Figura 2 – Vista das cavidades direita (A) e esquerda (B) do rúmen e retículo após a remoção do preenchimento e modelagem dos pilares do rúmen, (C) encaixe inserido na parede interna.



Fonte: Autoria própria (2021).

Tabela 1 - Parâmetros de impressão das peças impressas em PLA, ABS e TPU.

Parâmetros de impressão	PLA	ABS	TPU
	Ender 5 Pro	Stratasys Vantage I	Ender 3 Pro
Temperatura da mesa	60°C	90°C	70°C
Temperatura de extrusão	210°C / 200°C	230°C	230°C
Velocidade de impressão	65 mm/s / 45 mm/s	65 mm/s	15 mm/s
Altura da camada	0,16 mm / 0,8 mm	0,15 mm	0,2 mm
Quantidade de casas (perímetro)	3 / 4	3	4
Percentual de preenchimento	15% / 10%	50%	7%
Tipo de preenchimento interno	Retilíneo / Grade	Retilíneo	Grade
Preenchimento de suporte	10%	50%	10%
Distância de retração	5mm / 3 mm	1 mm	3 mm
Velocidade de retração	45mm/s / 25 mm/s	40 mm/s	25 mm/s

Fonte: Autoria própria (2021).

3 RESULTADOS

A impressão 3D é uma tecnologia em constante evolução que vem sendo introduzida nas áreas médica e biomédica e vem facilitando o processo de ensino-aprendizagem pois permite a criação de modelos didáticos realísticos além de apresentar grande valor nas práticas clínica e cirúrgica (GARCIA *et al.*, 2018; LAU *et al.*, 2018; NIBBLETT *et al.*, 2017).

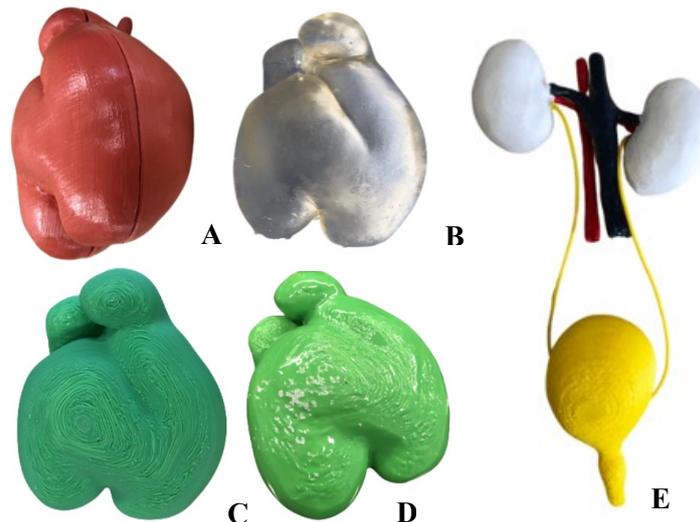
Os educadores de anatomia vêm sendo pressionados a aderir à tecnologia e a usar ferramentas *on line* e simulações computadorizadas. No entanto, modelos anatômicos físicos auxiliam os estudantes a compreender a tridimensionalidade de estruturas anatômicas pois manusear um objeto permite entendê-lo melhor (LAU *et al.*, 2018). Adicionalmente, estudos indicam que abordagens multimodais para o ensino de anatomia apresentam vantagens sobre o uso exclusivo de dissecação de cadáveres e a inclusão de ferramentas 3D pode melhorar a retenção do conteúdo da anatomia (WINER *et al.*, 2017).

Os modelos de estômago foram definidos em função dos objetivos didáticos com relação à estrutura anatômica a ser visualizada. Assim, no modelo seccionado foram modelados os pilares do rúmen e sulco reticular, o modelo com abertura lateral foi criado para permitir a visualização dos 4 compartimentos (rúmen,

retículo, omaso e abomaso) e, assim, o estudante será capaz de compreender o trajeto do alimento através dos quatro compartimentos e suas comunicações desde a chegada do bolo alimentar através do esôfago até a sua saída para o intestino delgado através do óstio pilórico (Fig. 3).

O modelo de sistema urinário de cão foi composto pelos órgãos urinários em tamanho real de um cão da raça Shih-tzu (rins direito e esquerdo, ureteres, vesícula urinária e uretra) e estruturas vasculares associadas representadas pelas artérias e veias renais e segmentos da aorta abdominal e veia cava caudal. Os rins, artérias e veias foram impressos em PLA branco para permitir a coloração das estruturas arteriais em vermelho e venosas em azul seguindo o padrão universal. Os ureteres foram representados por segmentos de filamento do mesmo TPU utilizado para a impressão da vesícula urinária (Figura 3).

Figura 3 – Modelos de estômago de ovino (A) cortado sagitalmente e impresso em PLA, (B) fechado impresso em resina acrílica, (C) impresso em ABS antes do pós-processamento com vapor de acetona, (D) superfície após ataque por vapor de acetona, (E) Sistema urinário com rins e vasos sanguíneos em PLA, ureteres, vesícula urinária e segmento cranial da uretra em TPU.



Fonte: Autoria própria (2021).

Os modelos didáticos de estômago de ovino e sistema urinário de cão produzidos por AM proporcionarão aos estudantes de anatomia dos animais domésticos novos recursos táteis que permitam a visualização 3D de estruturas anatômicas sem a exposição a vapores tóxicos e odor desagradável das soluções fixadoras de tecidos cadavéricos.

O valor educacional de modelos 3D comparados a modelos plastinados do ponto de vista do aluno foi analisado por MOGALI et al. (2018) e, apesar de considerarem os modelos 3D menos realistas que as peças plastinadas, as características anatômicas dos modelos 3D foram classificadas como precisas por todos os estudantes que destacaram aspectos positivos como cores e facilidade para manipulação que favoreceram a observação das relações entre as estruturas anatômicas. No mesmo sentido, os resultados obtidos por KHOT et al. (2013) indicaram que o desempenho do grupo que utilizou o modelo plástico para estudo foi significativamente melhor, sugerindo que há uma forte correlação entre a habilidade espacial e a capacidade de reconhecer estruturas.



4 CONCLUSÃO

As tecnologias de reconstrução 3D, modelagem e manufatura aditiva utilizados no desenvolvimento deste estudo são úteis para a produção de modelos didáticos de anatomia animal. Os modelos de estômago ovino e sistema urinário de cão apresentaram características anatômicas relevantes para o ensino de anatomia e seus valores didáticos foram avaliados positivamente pelos docentes da disciplina de anatomia animal do Departamento de Anatomia da UFPR.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao apoio financeiro do CNPq, à UTFPR, ao orientador Prof. Dr. José Aguiomar Foggiatto, à Prof^ª. Dr^ª. Maria Fernanda Pioli Torres e aos colegas do NUFER.

REFERÊNCIAS

- GARCIA, Justine *et al.* 3D printing materials and their use in medical education: A review of current technology and trends for the future. **BMJ Simulation and Technology Enhanced Learning**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 27–40, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1136/bmjstel-2017-000234>.
- GHOSH, Sanjib Kumar. Cadaveric dissection as an educational tool for anatomical sciences in the 21st century. **Anatomical Sciences Education**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 286–299, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ase.1649>.
- KHOT, Zaid *et al.* The relative effectiveness of computer-based and traditional resources for education in anatomy. **Anatomical Sciences Education**, [s. l.], v. 6, n. 4, p. 211–215, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ase.1355>.
- LAU, Ivan Wen Wen *et al.* Clinical value of patient-specific three-dimensional printing of congenital heart disease: Quantitative and qualitative assessments. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 1–15, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194333>.
- LI, Fangzheng *et al.* Production of accurate skeletal models of domestic animals using three-dimensional scanning and printing technology. **Anatomical Sciences Education**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 73–80, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ase.1725>.
- MOGALI, Sreenivasulu Reddy *et al.* Evaluation by medical students of the educational value of multi-material and multi-colored three-dimensional printed models of the upper limb for anatomical education. **Anatomical Sciences Education**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 54–64, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ase.1703>.
- NIBBLETT, Belle Marie D. *et al.* Design and validation of a three-dimensional printed flexible canine otoscopy teaching model. **Simulation in Healthcare**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 91–95, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1097/SIH.0000000000000227>.
- PETERSON, Diana Coomes; MLYNARCZYK, Gregory S.A. Analysis of traditional versus three-dimensional augmented curriculum on anatomical learning outcome measures. **Anatomical Sciences Education**, [s. l.], 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ase.1612>.
- WATSON, Robert A. A low-cost surgical application of additive fabrication. **Journal of Surgical Education**, [s. l.], v. 71, n. 1, p. 14–17, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2013.10.012>.
- WINER, Jenna N. *et al.* The application of 3-dimensional printing for preoperative planning in oral and maxillofacial surgery in dogs and cats. **Veterinary Surgery**, [s. l.], v. 46, n. 7, p. 942–951, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/vsu.12683>.