

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta
tese será disponibilizado
somente a partir de 16/02/2025.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
CÂMPUS DE BOTUCATU**

TESE DE DOUTORADO

**DESENVOLVIMENTO DE BIOMODELOS ÓSSEOS DA MASTOFAUNA
SELVAGEM EM IMPRESSÃO 3D PARA FINS DIDÁTICOS**

LUIZ GUSTAVO BICAS BARBOSA

**Botucatu - SP
2024**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
CÂMPUS DE BOTUCATU**

TESE DE DOUTORADO

**DESENVOLVIMENTO DE BIOMODELOS ÓSSEOS DA MASTOFAUNA
SELVAGEM EM IMPRESSÃO 3D PARA FINS DIDÁTICOS**

LUIZ GUSTAVO BICAS BARBOSA

Tese apresentada junto ao Programa de Pós-Graduação em Animais Selvagens para a obtenção do título de Doutor.

Orientadora: Prof^a. Assoc. Lígia Souza Lima Silveira da Mota

Co-orientador: Prof^o. Tit. Luís Carlos Paschoarelli

Barbosa, Luiz Gustavo Bicas.

Desenvolvimento de biomodelos ósseos da mastofauna selvagem em impressão 3d para fins didáticos / Luiz Gustavo Bicas Barbosa. – Botucatu, 2024. 195 f. : il.

Tese (Doutorado)–Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Medicina veterinária e Zootecnia, Botucatu, 2024.

Orientador: Lígia Souza Lima Silveira da Mota

Coorientador: Luís Carlos Paschoarelli.

1. Modelagem por Deposição Fundida. 2. Anatomia. 3. Recursos Didáticos. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de medicina Veterinária e Zootecnia. II. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor. Essa ficha não pode ser modificada

Nome do autor: **Luiz Gustavo Bicas Barbosa**

**TÍTULO: DESENVOLVIMENTO DE BIOMODELOS ÓSSEOS DA
MASTOFAUNA SELVAGEM EM IMPRESSÃO 3D PARA FINS DIDÁTICOS**

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof^a. Assoc^a. Lígia Souza Lima Silveira da Mota
Presidente e Orientadora
Departamento de Ciências Químicas e Biológicas
Instituto de Biociências, UNESP – Botucatu

Prof^a Assoc^a. Selma Maria Michelin Matheus
Departamento de Biologia Estrutural e Funcional
Instituto de Biociências, UNESP - Botucatu

Prof. Assoc. Antonio Chaves de Assis Neto
Departamento de Cirurgia
Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, USP- São Paulo

Prof. Assist. Dr. Gabriel Henrique Cruz Bonfim Neto
Faculdade de Arquitetura, Urbanismo e Design
Universidade Federal de Uberlândia, UFU - Uberlândia

Prof. Assist. Dr. Felipe Fornazari
Depto de Produção Animal e Medicina Veterinária Preventiva
Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, UNESP- Botucatu

Data da defesa: 16 de agosto de 2024

Agradecimentos

Dedicar-me à redação destes agradecimentos é uma tarefa que, por mais desafiadora que seja, representa uma oportunidade ímpar de expressar minha gratidão a todas as pessoas que contribuíram para a realização desta tese de doutorado. Ao longo dessa jornada, diversos indivíduos desempenharam papéis cruciais, cada um deixando sua marca e tornando esta conquista possível.

Às instituições:

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Animais Selvagens da Faculdade Medicina Veterinária Zootecnia (FMVZ) – Campus Botucatu, juntamente com seus docentes, por todas as oportunidades e aprendizados que me proporcionaram em todos esses anos.

Agradeço o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

Aos Professores que tive em minha trajetória:

Agradeço imensamente a todos os professores que, com seu conhecimento vasto e dedicação, compartilharam valiosas lições que enriqueceram meu percurso acadêmico. Em especial, à Carolina, que além de professora é uma grande amiga cujas orientações moldaram meu pensamento crítico e aprofundaram meu entendimento na área de pesquisa.

À equipe técnica:

À minha orientadora, Professora Lígia, cuja orientação perspicaz, paciência e compromisso inabalável foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Sua dedicação, vivacidade e insights valiosos moldaram não apenas a pesquisa, mas também o meu crescimento como estudante e pesquisador.

Agradeço também ao meu Coorientador Paschoarelli, por todas suas contribuições valiosas e pela partilha de conhecimento ao longo dessa jornada. Um agradecimento especial ao aluno de iniciação científica, Mauro Junior, cujo entusiasmo e dedicação contribuíram de maneira significativa para os resultados alcançados nesta tese. Sua presença e trabalho foram essenciais, e seu empenho reflete-se no sucesso desta pesquisa.

Aos Colegas de Laboratório:

À família que formamos no laboratório, especialmente aos companheiros Pedro, Larissa, Isagel, Matheus, João e Catharina. Agradeço por todos os momentos, e por todas as trocas de conhecimento que vivenciamos, assim como pela amizade duradoura que criamos. Os deveres de pós-graduação tornaram-se mais leves graças ao ambiente colaborativo e propício à pesquisa que construímos juntos.

Incluo aqui meus agradecimentos a Caroline também, que “não é do laboratório, mas gente gosta dela”, por ser uma das minhas melhores amigas desde o início da graduação que me acompanhou no mestrado e atualmente cursa o doutorado comigo. Agradeço por todos esses anos de paciência, por todos os momentos bons e pelas ciladas que passamos juntos, por nunca me negar ajuda e nem ignorar nenhuma mensagem ou ligação minha, por mais fúteis que fossem.

Aos Amigos:

Aos grandes amigos que estiveram ao meu lado em todos os momentos, em especial ao Luiz Henrique, Flávia e Jédria, agradeço por compartilharem comigo risadas, desafios, conquistas e até mesmo casas. Vocês são fontes de inspiração e suporte constantes.

À Minha Família:

À minha família, representada pelo meu irmão Denis, esposa e filhas, minha irmã Adriana e filhos e meus pais Luiz e Mirian, expresso minha eterna gratidão. Seu apoio incondicional, compreensão, amor e o suprimento de produtos farmacêuticos, foram a âncora que me sustentou durante todo esse percurso.

Aos meus “filhos de patas” Sodom, Abel, Samael e Lillith, pelo carinho imensurável e todo suporte emocional que me fornecem, assim como as várias oportunidades de usá-los como desculpa para não sair de casa (mesmo algumas delas sendo verídicas pelo desmantelamento que causavam).

À mim:

Finalmente, “agradeço a mim mesmo” por não ter desistido, por ter acreditado nas minhas capacidades e me proporcionar esta oportunidade de aprendizado e crescimento. Este trabalho é, em grande parte, uma manifestação da minha jornada de autoconhecimento.

A todos aqui mencionados e aos que, porventura, tenha esquecido de citar, o meu profundo agradecimento. Cada um de vocês desempenhou um papel único e insubstituível na minha jornada acadêmica, tornando esta conquista não apenas minha, mas nossa.

A cada um de vocês, o meu mais sincero obrigado.

RESUMO

DESENVOLVIMENTO DE BIOMODELOS ÓSSEOS DA MASTOFAUNA SELVAGEM EM IMPRESSÃO 3D PARA FINS DIDÁTICOS

O estudo da anatomia, que inicialmente dependia da dissecação de cadáveres, evoluiu com o tempo e agora inclui técnicas modernas como modelos de mídias virtuais, programas computacionais e biomodelos impressos. A impressão 3D possibilita a criação de biomodelos tridimensionais realistas, que facilitam a visualização e o entendimento da anatomia, sendo uma alternativa valiosa para o estudo de animais selvagens. Estes, por sua vez, têm um número reduzido de amostras para dissecação em comparação com as espécies domésticas. Dado que as espécies selvagens possuem estruturas anatômicas distintas e que há escassez de modelos disponíveis, os biomodelos impressos em 3D são uma ferramenta importante para estudar essas peculiaridades. Este trabalho teve como objetivo produzir material didático a partir do escaneamento de peças anatômicas de diferentes espécies e criar arquivos apropriados para impressão por Modelagem por Deposição Fundida (FDM). Os modelos criados foram avaliados por especialistas e 84,21% apresentaram resultados satisfatórios, com medidas que correspondem aos valores encontrados na literatura. Esses modelos foram bem recebidos devido à sua fidelidade visual e clareza nos detalhes anatômicos, demonstrando seu potencial como recursos didáticos eficazes. O estudo conclui que a impressão 3D é uma solução inovadora para a criação de materiais didáticos em anatomia, embora algumas melhorias sejam necessárias para aumentar a precisão de certos modelos.

Palavras-chave: Modelagem por Deposição Fundida, anatomia, recursos didáticos

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF BONE BIOMODELS OF WILD MAMMALIAN FAUNA IN 3D PRINTING FOR EDUCATIONAL PURPOSES.

The study of anatomy, which initially relied on the dissection of cadavers, has evolved over time to include modern techniques such as virtual media models, computer programs, and printed biomodels. 3D printing allows for the creation of realistic three-dimensional biomodels that facilitate the visualization and understanding of anatomy, making it a valuable alternative for studying wild animals, which typically have fewer dissection samples compared to domestic species. Given that wild species have distinct anatomical structures and that there is a scarcity of available models, 3D-printed biomodels are an important tool for studying these particularities. This study aimed to produce educational materials through the scanning of anatomical specimens from different species and create files suitable for printing using Fused Deposition Modeling (FDM). The models created were evaluated by experts, and 84.21% showed satisfactory results, with measurements that matched the values found in the literature. These models were well-received due to their visual fidelity and clarity of anatomical details, demonstrating their potential as effective educational resources. The study concludes that 3D printing is an innovative solution for creating educational materials in anatomy, although some improvements are needed to increase the accuracy of certain models.

Keywords: Fused Deposition Modeling, anatomy, teaching resources.

Sumário

LISTA DE TABELAS.....	I
LISTA DE FIGURAS.....	II
CAPITULO I	01
1 INTRODUÇÃO	02
1.1 Contextualização do estudo.....	02
1.2 Justificativa da pesquisa.....	04
2 OBJETIVOS	08
2.1 Objetivo geral.....	09
2.2 Objetivos específicos.....	09
3 REVISÃO DA LITERATURA	13
3.1 Anatomia.....	13
3.2 Osteologia.....	14
3.3 Impressão 3d.....	15
3.4 Espécies escolhidas e disponíveis para modelagem.....	18
3.4.1 Ordem Carnívora.....	18
3.4.1.1 Família Felidae.....	19
3.4.1.1.1 Onça Parda (<i>Puma concolor</i>)	19
3.4.1.1.2 Jaguaritica (<i>Leopardus pardalis</i>)	20
3.4.1.1.3 Gato-do-mato (<i>Leopardus tigrinus</i>)	21
3.4.1.2 Família Canidae.....	22
3.4.1.2.1 Lobo-guará (<i>Chrysocyon brachyurus</i>)	23
3.4.1.3 Família Mustelidae.....	24
3.4.1.3.1 Lontra (<i>Lontra longicaudis</i>).....	24
3.4.2 Ordem Primata.....	25
3.4.2.1 Família Cebidae.....	25
3.4.2.1.1 Macaco-prego (<i>sapajus sp.</i>)	26
3.4.3 Ordem Didelphimorphia.....	27
3.4.3.1 Família Didelphidae.....	27
3.4.3.1.1 Gambá (<i>Didelphis albiventris</i>)	27
3.4.3.1.2 Cuica (<i>Monodelphis sp.</i>)	28

3.4.4	Ordem Rodentia	29
3.4.4.1	Família Caviidae.....	29
3.4.4.1.1	Capivara (<i>Hydrochoerus hydrochaeris</i>)	29
3.4.4.2	Família Cuniculidae.....	30
3.4.4.2.1	Paca (<i>Cuniculus paca</i>)	30
3.4.4.3	Família Dasypractidae.....	31
3.4.4.3.1	Cutia (<i>Dasyprocta sp.</i>)	31
3.4.5	Ordem Artiodactyla.....	32
3.4.5.1	Família Tayssuidae.....	33
3.4.5.1.1	Cateto (<i>Pecari tajacu</i>)	33
3.4.5.2	Família Cervidae.....	34
3.4.5.2.1	Veado-catingueiro (<i>Subulo gouazoubira</i>)	34
3.4.6	Superordem Xenarthra.....	35
3.4.6.1	Ordem Cingulata.....	35
3.4.6.1.1	Família Dasypididae.....	36
3.4.6.1.2.1	Tatu-galinha(<i>dasypus. novemcintus</i>)	36
3.4.6.2	Ordem Pilosa.....	37
3.4.6.2.1	Família Myrmecophagidae.....	37
3.4.6.2.1.1	Tamanduá-bandeira (<i>Myrmecophaga tridactyla</i>)	37
3.4.6.2.1.2	Tamanduá-mirim (<i>Tamandua tetradactyla</i>)	39
REFERENCIAS		
CAPITULO II- ARTTIGOS CIÊNTIFICOS.....		59
4.	TRABALHOS CIENTIFICOS.....	60
4.1	Trabalho científico I.....	60
4.2	Trabalho científico II.....	70

Lista de Tabelas

Artigo II

Tabela 1.	<i>Parâmetros utilizados na impressão dos protótipos. (Desenvolvido pelos autores, 2023)</i>	75
Tabela 2.	<i>Parâmetros e índices morfométricos dos ossos.....</i>	76
Tabela 3.	<i>Peso em gramas de filamento PLA utilizado em cada biomodelos impressos.....</i>	77
Tabela 4.	<i>Avaliação da percepção de estruturas no biomodelo impresso de crânio de onça-parda (Puma concolor).</i>	84
Tabela 5.	<i>Avaliação da percepção de estruturas no biomodelo impresso de crânio de jaguatirica (Leopardus pardalis).</i>	85
Tabela 6.	<i>Avaliação da percepção de estruturas no biomodelo impresso de crânio de gato-do-mato (Leopardos tigrinus).</i>	86
Tabela 7.	<i>Avaliação da percepção de estruturas no biomodelo impresso de crânio de lobo-guara (Chrysocyon brachyurus.....</i>	87
Tabela 8.	<i>Avaliação da percepção de estruturas no biomodelo impresso de crânio de Lontra(Lontra longicaudis).....</i>	88
Tabela 9.	<i>Avaliação da percepção de estruturas no biomodelo impresso de mandíbula de onça-parda (Puma concolor).....</i>	89
Tabela 10.	<i>Avaliação da percepção de estruturas no biomodelo impresso de mandíbula de jaguatirica (Leopardos pardalis)</i>	89
Tabela 11.	<i>Avaliação da percepção de estruturas no biomodelo impresso de mandíbula de gato-do-mato (Leopardos tigrinus).</i>	90
Tabela 12.	<i>lontra (Lontra longicaudis.)</i>	90
Tabela 13.	<i>Avaliação da percepção de estruturas no biomodelo impresso de mandibula do lobo-guara (Chrysocyon brachyurus)</i>	91
Tabela 14.	<i>Parâmetros morfométricos do crânio de onça-parda (Puma concolor).</i>	92
Tabela 15.	<i>Parâmetros morfométricos do crânio de jaguatirica (Leoopardus pardalis).....</i>	92
Tabela 16.	<i>Parâmetros morfométricos do crânio de gato-do-mato (Leopardos tigrinus).....</i>	93

Tabela 17.	<i>Parâmetros morfométricos do crânio de lobo-guara (Chrysocyon brachyurus)....</i>	93
	<i>Avaliação da percepção de estruturas no biomodelo impresso de crânio de</i>	
Tabela 18.	<i>macaco-prego (Sapajus sp.)</i>	95
	<i>Avaliação da percepção de estruturas no biomodelo impresso de mandíbula de</i>	
Tabela 19.	<i>macaco-prego (Sapajus sp.)</i>	96
Tabela 20.	<i>Parâmetros morfométricos do crânio de macaco-prego (Sapajus sp.).....</i>	96
	<i>Avaliação da percepção de estruturas no biomodelo impresso de crânio de</i>	
Tabela 21.	<i>gambá (Didelphis albiventris)</i>	99
	<i>Avaliação da percepção de estruturas no biomodelo impresso de crânio de</i>	
Tabela 22.	<i>cuica (Monodelphis sp.)</i>	100
	<i>Avaliação da percepção de estruturas no biomodelo impresso de mandíbula</i>	
Tabela 23.	<i>de gambá-de-orelha-branca (Didelphis albiventris).....</i>	101
	<i>Avaliação da percepção de estruturas no biomodelo impresso de mandíbula de</i>	
Tabela 24.	<i>cuica (Monodelphis sp.)</i>	101
	<i>Parâmetros morfométricos do crânio de gambá-de-orelha-branca (Didelphis</i>	
Tabela 25.	<i>albiventris)</i>	102
Tabela 26.	<i>Parâmetros morfométricos do crânio de cuica (Monodelphis sp.).....</i>	102
	<i>Avaliação da percepção de estruturas no biomodelo impresso de mandíbula de</i>	
Tabela 27.	<i>capivara (Hydrochoerus hydrochoeris)</i>	106
	<i>Avaliação da percepção de estruturas no biomodelo impresso de mandíbula de</i>	
Tabela 28.	<i>paca (Cuniculus paca)</i>	106
	<i>Avaliação da percepção de estruturas no biomodelo impresso de mandíbula de</i>	
Tabela 29.	<i>cutia (Dasypracta sp.)</i>	107
	<i>Avaliação da percepção de estruturas no biomodelo impresso de crânio de</i>	
Tabela 30.	<i>capivara (Hydrochoerus hydrochoeris)</i>	108
	<i>Avaliação da percepção de estruturas no biomodelo impresso de crânio de</i>	
Tabela 31.	<i>paca (Cuniculus paca)</i>	109
	<i>Avaliação da percepção de estruturas no biomodelo impresso de crânio de</i>	
Tabela 32.	<i>cutia (Dasypracta sp.)</i>	110
Tabela 33.	<i>Parâmetros morfométricos do crânio de capivara (Hydrochoerus hydrochoeris)..</i>	111
Tabela 34.	<i>Parâmetros morfométricos do crânio de paca (Cuniculus paca).....</i>	111

<i>Parâmetros morfométricos do crânio de tamanduá-bandeira (Myrmecophaga tridactyla)</i>	113
<i>Avaliação da percepção de estruturas no biomodelo impresso de crânio de tamandua-mirim (tamandua tetradactyla)</i>	114
<i>. Avaliação da percepção de estruturas no biomodelo impresso de crânio de tamandua-mirim (tamandua tetradactyla)</i>	115
<i>Avaliação da percepção de estruturas no biomodelo impresso de crânio de Tatu-galinha (dasypus. novemcintus)</i>	116
<i>Avaliação da percepção de estruturas no biomodelo impresso de crânio de cateto (pecari tajacu)</i>	118
<i>Avaliação da percepção de estruturas no biomodelo impresso de crânio Veado-catingueiro (Subulo gouazoubira)</i>	119
<i>Avaliação da percepção de estruturas no biomodelo impresso de mandíbula de cateto (pecari tajacu)</i>	119
<i>Parâmetros morfométricos do crânio de crânio de cateto (pecari tajacu)</i>	120

Artigo I

Figura 1	<i>Crânio de tamanduá-bandeira após retirada dos tecidos moles. Fonte: Acervo pessoal.....</i>	63
Figura 2	<i>Crânio de tamanduá-bandeira submerso em água. Fonte: Acervo pessoal.....</i>	63
Figura 3	<i>Scanner EinScan-SE. Fonte: manual de equipamento do Scanner.....</i>	64
Figura 4	<i>Método de captura de imagem do Scanner EinScan-SE Fonte: Adaptado do manual de equipamento do Scanner.....</i>	64
Figura 5	<i>Padrão de luz do Scanner EinScan-SE Fonte: Acervo pessoal.....</i>	64
Figura 6	<i>Interpretação das estruturas pelo software EXScan S v3.1.0.1. Fonte: Acervo pessoal.....</i>	64
Figura 7	<i>Crânio de macaco prego posicionado em ângulos diferentes para escaneamento Fonte: Acervo pessoal.....</i>	64
Figura 8	<i>Preparação para o escaneamento por meio da aplicação do pó revelador em bico de tucano para diminuir o reflexo. Fonte: Acervo pessoal.....</i>	64
Figura 9	<i>Parâmetros utilizados pelo Scanner EinScan-SE. Fonte: Acervo pessoal.....</i>	65
Figura 10	<i>Exemplificação da variação no número de triângulos da malha. Fonte: HUBS, A protolabs company.....</i>	65
Figura 11	<i>Nuvem de pontos formada a partir do chifre de veado-catingueiro, marcação no suporte que posteriormente foi retirado. Fonte: Acervo pessoal.....</i>	65
Figura 12	<i>Edição para remoção de ruídos nas malhas editadas pelo software GOM Inspect. Fonte: Acervo pessoal.....</i>	65
Figura 13	<i>Edição para fechamento de furos nas malhas editadas pela ferramenta ponte de malha no software GOM Inspect. Fonte: Acervo pessoal.....</i>	66
Figura 14	<i>Melhorias nas malhas utilizando as ferramentas de suavização e refinamento do software GOM Inspect. Fonte: Acervo pessoal.....</i>	66
Figura 15	<i>Nuvem de pontos formada a partir do escaneamento do bico do tucano. Fonte: Acervo pessoal.....</i>	66

Figura 16	<i>Nuvem de pontos formada a partir do escaneamento da carapaça/plastrão do tigre-d'água. Fonte: Acervo pessoal.....</i>	66
Figura 17	<i>Nuvem de pontos formada a partir do escaneamento do chifre de veado-catingueiro 1. Fonte: Acervo pessoal.....</i>	66
Figura 18	<i>Nuvem de pontos formada a partir do escaneamento do chifre de veado-catingueiro 2. Fonte: Acervo pessoal.....</i>	66
Figura 19	<i>Escaneamento do crânio de tamanduá-bandeira em diversos ângulos, a fim de obter dados da peça inteira. Fonte: Acervo pessoal.....</i>	66
Figura 20	<i>Escaneamento dos crânios de capivara, cateto e lobo-guará. Destaque para o tamanho das peças em comparação a mesa do equipamento. Fonte: Acervo pessoal.....</i>	67
Figura 21	<i>Malhas oriundas do escaneamento dos crânios de capivara, cateto e lobo-guará assim como as peças do tamanduá-bandeira. Fonte: Acervo pessoal.....</i>	67
Figura 22	<i>Peça original do crânio fraturado de veado-catingueiro e a malha gerada ao escanear a peça. Fonte: Acervo pessoal.....</i>	67
Figura 23	<i>Malha oriunda do escaneamento do crânio fraturado de veado-catingueiro Fonte: Acervo pessoal.. ..</i>	67
Figura 24	<i>Malhas obtidas das mandíbulas de capivara, cateto, cuíca, gambá, gato-do-mato, lobo-guará, lontra, macaco-prego, paca, onça-parda e cutia. Fonte: Acervo pessoal.....</i>	67
Figura 25	<i>Malhas resultantes do escaneamento dos crânios de gambá, gato-do mato, tamanduá-mirim, jaguátirica, cutia, lontra, macaco-prego, paca, tatu-galinha e cuíca. Fonte: Acervo pessoal.....</i>	67

Artigo II

Figura 1	<i>Configuração utilizada para impressão no Software Ultimaker Cura Fonte: Acervo pessoal.....</i>	74
Figura 2	<i>Impressora de Modelagem por Deposição Fundida (FDM) BIQU B1 Fonte: Acervo pessoal.....</i>	75

	<i>Medidas das vistas lateral (A), dorsal (C), ventral (D) e caudal do crânio e da vista lateral (B) de capivara mostrando comprimento do crânio (SKL), largura do crânio (SW), comprimento da base do crânio (SBL), comprimento craniano (CL), largura craniana (CW), altura craniana (CH), largura orbital (OW), altura orbital (OH), comprimento, facial (FAL), largura facial (FAW), comprimento nasal (NL), largura nasal (NW), altura zigomática (ZH), largura occipital (OCW), altura occipital (OCH), largura intercondilar (ICW), largura do forame magno (FMW), altura do forame magno (FMH), largura incisiva (IW), comprimento incisivo (IL), comprimento da mandíbula (MAL). Fonte: Acervo pessoal.</i>	77
Figura 3		
	<i>Posicionamento do crânio de onça-parda para fatiamento utilizando suporte no modo "Árvore" (tree). Fonte: Acervo pessoal.</i>	78
Figura 4		
	<i>Peça impressa do crânio de onça-parda em vista dorsal (A), ventral (B), frontal (C) e cranial(D). Fonte: Acervo pessoal.</i>	79
Figura 5		
	<i>Peça impressa de mandíbula de onça-parda em vista lateral direita (A), lateral esquerda (B), cranio-lateral direita (C), cranio-lateral esquerda (D), dorsal (E) e rostral (F). barra de escala: 2,8 cm. Fonte: Acervo pessoal.</i>	79
Figura 6		
	<i>Peça impressa do crânio de jaguatirica em vista lateral direita (A), lateral esquerda (B) rostral (C), crânio-dorsal (D) e dorsal (E), barra de escala: 3 cm. Fonte: Acervo pessoal.</i>	80
Figura 7		
	<i>Peça impressa do crânio de gato-do-mato em vista lateral direita (A), lateral esquerda (B), rostral (C), cranio-dorsal (D), dorsal (E) e ventral(F). barra de escala: 2 cm. Fonte: Acervo pessoal.</i>	80
Figura 8		
	<i>Peça impressa da mandíbula de gato-do-mato em vista lateral direita (A), lateral esquerda (B), rostral (C), cranio-dorsal (D). barra de escala: 1 cm Fonte: Acervo pessoal.</i>	81
Figura 9		
	<i>Peça impressa do crânio de lobo-guará em vista lateral direita (A), lateral esquerda (B), ventral (C), crano-dorsal (D), e rostral(E) barra de escala: 4,5cm. Fonte: Acervo pessoal.</i>	81
Figura 10		
	<i>Peça impressa da mandíbula de lobo-guará vista lateral direita(A), lateral esquerda (B), rostral(C) e dorsal (D), barra de escala: 3 cm. Fonte: Acervo pessoal.</i>	82
Figura 11		
	<i>Peça impressa do crânio de lontra em vista lateral direita (A), lateral esquerda (B), rostral(C), crânio-dorsal (D), dorsal(E) e ventral(F), barra de escala: 2,2 cm. Fonte: Acervo pessoal.</i>	82
Figura 12		

- Peça impressa da mandíbula de lontra em vista lateral direita (A), lateral esquerda (B), dorsal(C) e rostral (D), barra de escala: 1,4 cm.*
- Figura 13** *Fonte: Acervo pessoal.....* 83
- Peça impressa do crânio de macaco-prego em vista lateral direita (A), lateral esquerda (B) rostral (C), e dorsal (D), barra de escala: 2,2 cm.*
- Figura 14** *Fonte: Acervo pessoal.....* 94
- Peça impressa da mandíbula de macaco-prego em vista lateral direita (A), lateral esquerda (B) rostral (C), crânio-dorsal esquerda (D) e crânio-dorsal direita (E), barra de escala: 1,7cm. Fonte: Acervo pessoal.....*
- Figura 15** 94
- Peça impressa do crânio de gamba-de-orelha-branca em vista lateral direita (A), lateral esquerda (B) rostral (C), crânio-dorsal (D), dorsal (E) e ventral (F), barra de escala: 2,5 cm . Fonte: Acervo pessoal.....*
- Figura 16** 97
- Peça impressa da mandíbula de gambá de-orelha-branca em vista lateral direita (A), lateral esquerda (B) dorsal (C), rostral (D), barra de escala: 1,6 cm.*
- Figura 17** *Fonte: Acervo pessoal.....* 97
- Peça impressa do crânio de cuica em vista lateral direita (A), lateral esquerda (B) rost cranial(D) e dorsal (E), barra de escala: 1,6 cm. Fonte: Acervo pessoal..*
- Figura 18** 98
- Peça impressa da mandíbula de cuica em vista crânio-lateral direita (A), crânio-lateral esquerda (B) rostral(C), dorsal (D) e lateral direita (E), barra de escala: 1,6 cm. Fonte: Acervo pessoal.....*
- Figura 19** 98
- Peça impressa do crânio de capivara em vista lateral direita(A), lateral esquerda(B), rostral(C) e caudal (D), barra de escala: 4,6 cm.*
- Figura 20** *Fonte: Acervo pessoal.....* 103
- Peça impressa da mandíbula de capivara em vista lateral direita(A), lateral esquerda(B),e dorsal (C), barra de escala: 3,7 cm.Fonte: Acervo pessoal.....*
- Figura 21** 103
- Peça impressa do crânio de paca em vista lateral direita(A), lateral esquerda(B), rostral(C) e ventral (D), barra de escala: 2,4 cm.*
- Figura 22** *Fonte: Acervo pessoal .* 104
- Peça impressa da mandíbula de paca em vista lateral direita(A), lateral esquerda(B), dorsal (C), e rostral (D) barra de escala: 1,75 cm.*
- Figura 23** *Fonte: Acervo pessoal.....* 104
- Peça impressa do crânio de cutia em vista lateral direita (A), lateral esquerda (B) rostral(C), dorsal (D) e ventral (E), barra de escala: 2 cm.*
- Figura 24** *Fonte: Acervo pessoal.....* 105

- Peça impressa do crânio de cutia em vista lateral direita (A), lateral esquerda (B) dorsal (C) e rostral (D), barra de escala: 1,3 cm. Fonte: Acervo pessoal.....* 105
- Figura 25**
- Peça impressa do crânio de tamandua-bandeira em vista lateral direita (A), lateral esquerda (B), dorsal (C), ventral (D) e crânio-dorsal (E), barra de escala: 4,6 cm. Fonte: Acervo pessoal.....* 112
- Figura 26**
- Peça impressa do crânio de tamandua-mirim em vista lateral direita (A), lateral esquerda (B), dorsal (C), ventral (D), barra de escala: 2,1 cm. Fonte: Acervo pessoal.....* 112
- Figura 27**
- Peça impressa do crânio de tatu-galinha em vista lateral direita (A), lateral esquerda (B), dorsal (C), ventral (D), barra de escala: 1,5 cm. Fonte: Acervo pessoal.....* 113
- Figura 28**
- Peça impressa do crânio de cateto em vista lateral direita (A), lateral esquerda (B) rostral(C), dorsal (D) e ventral (E), barra de escala: 4,6 cm. Fonte: Acervo pessoal.....* 117
- Figura 29**
- Figura 30. Peça impressa do crânio de cateto em vista lateral direita (A), lateral esquerda (B) rostral(C), dorsal (D) e ventral (E), barra de escala: 4,5 cm. Fonte: Acervo pessoal.....* 117
- Figura 30**
- Peça impressa da mandíbula de cateto em vista lateral direita (A), lateral esquerda (B) dorsal (C) e rostral (E), barra de escala: 3,3 cm. Fonte: Acervo pessoal.....* 118
- Figura 31**

CAPITULO I

1. INTRODUÇÃO

Este estudo apresenta um grande potencial de inovação nas áreas do conhecimento em anatomia e zoologia, empregando novas tecnologia de prototipagem. O impacto no uso do material gerado poderá subsidiar uma nova forma na criação de acervos didáticos auxiliando, em muito, a forma de ensino nessas áreas. A resposta a isso está no uso da tecnologia de impressão 3D.

Esta tecnologia não apenas viabiliza a criação de modelos, mas destaca-se também seu emprego na divulgação científica. A impressão 3D vem se tornando uma valiosa ferramenta nas diferentes áreas tanto científicas como educacionais e, ao empregar os biomodelos no ensino de anatomia, este projeto incentiva a adoção de práticas que se destacam pela forma de preparar, armazenar e utilizar as peças de estudo, graças a dispensabilidade de produtos químicos.

Além de possibilitar a ampliação no estudo de animais silvestres, uma vez que não é tão comum o acesso às peças anatômicas dessas espécies, principalmente quando se encontram fora de suas áreas de ocorrência. Pretende-se também, a partir deste estudo, incentivar futuras pesquisas na área representando uma abordagem inovadora para tornar o conhecimento científico mais acessível, esclarecedor e envolvente

1.1. Contextualização do estudo

O ensino de anatomia tem como objetivo abordar a forma, disposição e a estrutura dos tecidos e órgãos que compõem o corpo. A palavra anatomia vem do grego onde tem como significado “cortar em pedaços”, uma vez que a dissecação de cadáveres é o método tradicionalmente utilizado no processo de

ensino-aprendizagem desse ramo do conhecimento médico veterinário (DYCE et al., 2010). Essa forma de ensino mostra-se importante para profissionais de diversas áreas, geralmente ligados a saúde, tanto humana como de animais.

Segundo Lopes et al. (2019) a osteologia representa o campo da anatomia dedicado à investigação dos ossos e de suas estruturas sendo que o sistema esquelético desempenha um papel fundamental na sustentação corporal, na proteção de órgãos vitais e na função de reservatório para substâncias essenciais. Tanto na área da medicina humana quanto na veterinária, torna-se imperativo o exame aprofundado da anatomia óssea e suas complexidades.

Sendo a anatomia macroscópica o estudo de estruturas corpóreas observáveis a olho nu, atualmente muitos recursos tecnológicos estão sendo incorporados, tornando possível o desenvolvimento de novos conceitos na educação médica, além de pesquisas e aplicação de novas abordagens pedagógicas (McCUSKEY et al., 2005). Mesmo a dissecação de cadáveres sendo o método mais comum e indicado para estudo, outros métodos de ensino e técnicas anatômicas podem ser complementares (MASSARI, 2020). Temos como forma alternativa no ensino da anatomia, a criação de acervos, tanto digitalizados como impressos, podendo assim amenizar as questões éticas que envolvem o uso de cadáveres (THOMAS et al., 2016; CHARCHAR et al., 2018).

As tecnologias de captura e digitalização 3D foram inicialmente desenvolvidas e aplicadas para inspeções de peças e equipamentos fabris e industriais, mas de acordo com Dezen-Kempton et al. (2015), estas aplicações alcançaram outros setores, tais como a arquitetura, odontologia, medicina entre outros. E, por meio de programas de aprendizagem computadorizados, atualmente é possível executar dissecações virtuais com simulações em multimídias. Existem *softwares* interativos que podem gerar imagens 3D, propiciando ao estudante, de forma altamente sensorial, uma imersão a procedimentos psicomotores, gerando oportunidades de interação em tempo real com o modelo, e até a impressão de biomodelos tridimensionais de peças anatômicas (MASSARI et al., 2018).

Os conteúdos transmitidos apenas na teoria e a falta de aulas práticas dificultam o aprendizado dos alunos (RANKRAP, BAUNGRATZ, HAAS, 2020). Por serem produzidos a partir de material termoplástico, a utilização dos biomodelos não fica restrita a laboratórios de anatomia, podendo ser usados também em outros locais, como bibliotecas e salas de aula (WEN, 2016).

1.2. Justificativa da pesquisa

No Brasil, as Diretrizes Curriculares Nacionais para o curso de graduação em Medicina Veterinária definem que todas as ações pedagógicas devem ser pautadas nos conceitos de bem-estar animal, sustentabilidade ambiental e ética de saúde única (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2019). Ao nos debruçarmos sobre a atual metodologia de ensino, temos o uso do formol nas aulas de anatomia, o qual é um conservante muito utilizado para manutenção das propriedades de animais mortos, porém gera desconforto e riscos para a saúde tanto dos estudantes quanto de profissionais que trabalham nesse ambiente (MASSARI et al., 2018).

Outra questão bastante discutida é o uso de animais para fins de ensino ou pesquisas (CHARCHAR et al., 2018). Já na década de 50, dois pesquisadores ingleses, William Russel e Rex Burch, começaram a difundir o conceito dos “3 Rs”, que prega a ideia de substituir (Replace) animais sempre que possível; reduzir (Reduce) ao mínimo o número de animais em ensino, pesquisa e testes; e refinar (Refine) os métodos para minimizar quaisquer lesões aos animais. Conceito este proposto atualmente como base para instituições de ensino e pesquisa (FENWICK et al., 2009).

Instituições de ensino e pesquisa enfrentam uma considerável demanda por peças anatômicas (PRZYBYSZ; CUNHA, 2011), uma vez que coleções de esqueletos de diversas espécies animais desempenham papel crucial na identificação, classificação e comparação dos sistemas esqueléticos (DALL'OLIO, 2002; MORENO-GARCIA et al., 2005).

A utilização dessas peças permite obter *insights* acerca dos hábitos de cada animal e suas adaptações (ALENCAR; PEREIRA, 2015), tendo que as

variações nos elementos do esqueleto, observadas ao longo da evolução, evidenciam a capacidade dos animais em responder às distintas características dos habitats (VIEIRA et al., 2016). A preservação e o armazenamento de coleções de espécies distintas possibilitam a representação da biodiversidade em diferentes regiões e, o Brasil, devido à sua vasta riqueza biológica, apresenta um considerável potencial para a produção de coleções osteológicas (NUNES; PERÔNIO, 2003; SILVA et al., 2007).

Rossi Junior (2007) mencionou que as análises de trabalhos com sínclinos são extremamente valiosas, uma vez que revelaram condições adversas das que os animais enfrentam em seu ambiente natural e que, provavelmente, não tenham sido determinantes de suas mortes. Chahud (2021) ressalta que a utilização de elementos cranianos e dentários é uma ferramenta muito importante para determinação de espécies e relações filogenéticas dentro dos mamíferos.

Em seu estudo, Netta e Costa (2014), descreveram como cada táxon, que engloba espécies e/ou famílias, apresentaram características distintas devido à evolução da integração morfológica a qual buscou relacionar a forma à sua função. Em outras palavras, a estrutura morfológica harmoniza-se com a função ecológica desempenhada pelo animal. Por exemplo, a morfologia dental varia entre táxons de acordo com os hábitos alimentares de seus representantes, tal como a onça-parda pertencente à ordem *Carnivora*, alimenta-se de carne e possui dentes triangulares e pontiagudos, especializados para capturar e dilacerar presas. O veado-catingueiro da ordem *Artiodactyla*, um herbívoro, não possui dentes caninos e apresenta molares achatados para triturar vegetais. Já, o tamanduá-bandeira da ordem *Xenarthra*, que se alimenta principalmente de cupins e formigas, não possui dentes.

Nas últimas décadas, as novas tecnologias virtuais passaram a contribuir expressivamente nos métodos de *Design* de Produto, especialmente com os sistemas de digitalização e impressão tridimensionais (3D). Kus et al.(2009) citaram que entre, as vantagens, destacam-se a obtenção com velocidade, precisão e acurácia das informações (dimensão e formato) dos objetos digitalizados, além de outros pontos positivos como a eficiência na

produção de protótipos, a recuperação instantânea de informações, a possibilidade de compartilhamento de dados via internet com outros profissionais, a redução de custos e de espaço para armazenamento, além da redução do risco de dano ou perda dos materiais já que podem ser armazenados de forma virtual.

O rápido desenvolvimento da impressão 3D tornou essa tecnologia mais acessível, possibilitando a criação de coleções anatômicas digitalizadas e impressas, as quais se mostram eficazes para atividades didáticas em cursos de graduação (WU et al., 2015; EDELMERS; KAZOKA; PILMANE, 2021). Além de proporcionar aulas mais completas em termos de comparação, uma vez que a variedade de espécies animais disponível pode ser bem maior a partir das impressões de estruturas anatômicas de animais silvestres (THOMAS et al., 2016) e selvagens.

Essas coleções proporcionam a reprodutibilidade de peças anatômicas artificiais a um custo reduzido (WILHITE; WÖLFEL, 2019). De fato, qualquer universidade com acesso aos arquivos das imagens e impressora 3D pode produzir modelos de acordo com a demanda de professores e alunos sobre temas específicos onde há falta de recursos ou dificuldades de acesso (KEENAN; BEN AWADH, 2019).

Considerando as diversas limitações dos métodos tradicionais de preparação de peças anatômicas, como os riscos químicos, a necessidade de um local adequado, o tempo prolongado do processo, a baixa disponibilidade de esqueletos de animais selvagens e as variações anatômicas que as peças podem apresentar, a impressão de biomodelos em 3D se mostra vantajosa. Esse método é realizado em um curto período de tempo em comparação com os métodos tradicionais, gera peças mais leves que podem ser facilmente transportadas, armazenadas e manuseadas sem a necessidade de um local específico, permite a substituição rápida dos modelos, oferece peças padronizadas e possui baixo custo de produção.

CALAZANS, A.; MARTINS, C. A. O uso da tecnologia de impressão 3D na educação: pressupostos conceituais a partir da teoria do duplo aspecto de Andrew Feenberg. Revista Dialectus, São Paulo, n. 23, p. 33-53, 2021. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufc.br/dialectus/article/view/71847/197293>>. Acesso em: novembro 2023.

CHAHUD, A. Osteometria e breves comentários sobre *Puma concolor* LINNAEUS, 1771 (Carnivora, Felidae), no Estado do Maranhão, Brasil. Revista Biociências, v. 27, n. 1, p. 15-28, 2021

CHARCHAR, C. C. C. et al. Prototipagem em Medicina Veterinária: Construção de Modelos Anatômicos e Parasitológicos Ambientalmente sustentáveis, Revista Iniciação Científica, pg 40-46, 2018

COLLIPAL L.E., Silva MH. Estudio de la anatomía en cadáver y modelos anatómicos: impresión de los estudiantes. Int. J. Morphol 2011; 29(4):1181-1185.

CORREIO BRAZILIENSE, 2021 in LIMA, L. et al. ESTUDO ETOLÓGICO COM ENRIQUECIMENTO AMBIENTAL. NO RECINTO DE ONÇAS PARDAS (*Puma concolor*). Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – (FEIS) Universidade Estadual Paulista (UNESP), Ilha Solteira, 2017

DEZEN-KEMPTER, E. et al. Escaneamento 3D a laser, fotogrametria e modelagem da informação da construção para gestão e operação de edificações históricas. Gestão & Tecnologia de Projetos, v. 10, p. 113- 168, 2015.

EDELMERS, E.; KAZOKA, D.; PILMANE, M. Creation of anatomically correct and optimized for 3d printing human bones models. Applied System Innovation, v. 4, n. 3, 2021

GHOSH, S. K. Cadaveric dissection as an educational tool for anatomical sciences in the 21st century. Anatomical Sciences Education, v. 10, n. 3, p. 286–299, 2017.

GOH, G. D. et al. Machine learning for 3D printed multi-materials tissue- mimicking anatomical models. Materials and Design, v. 211, p. 110125, 2021.

JOHNSON E.O., CHARCHANTI A.V., TROUPIS T.G. Modernization of an anatomy class: from conceptualization to implementation: a case for integrated multimodal – multidisciplinary teaching. Anat Sci Educ 2012 Mai;1-13. KEENAN, I. D.; BEN AWADH, A. Integrating 3D Visualisation technologies in undergraduate anatomy education. Advances in Experimental Medicine and Biology, v. 1120, p. 39–53, 2019.

KUS, A.; UNVER, E.; TAYLOR, A. A comparative study of 3D scanning in engineering, product and transport design and fashion design education. Computer Applications in Engineering Education, 17, 263-271. 2009.

LIMA, F. C. R. Um estudo sobre a fabricação de órtese de membro animal por impressão 3D. 84 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2022.

MASSARI, C. H. D. A. L. Plataforma de ensino em anatomia animal: conteúdos didáticos para o ambiente virtual de aprendizagem e impressão 3D como técnica anatômica 2020, Tese de Doutorado em Ciências, Universidade de São Paulo, 2020

MCCUSKEY, R. S., et al. The importance of anatomy in health professions education and the shortage of qualified educators. *Academic Medicine*, v. 80, n. 4, p. 349-351, 2005

MCMENAMIN, Paul G. et al. The production of anatomical teaching resources using three-dimensional (3D) printing technology. *Anatomical sciences education*, v. 7, n. 6, p. 479-486,

MIRANDA, F. Cingulata (Tatus) e Pilosa (Preguiças e Tamanduás). CUBAS, Z. S.; SILVA, J. C. R.; CATÃO-DIAS, J. L. *Tratado de Animais Selvagens*. 2 ed. São Paulo, SP: GEN e ROCA, 2014. p. 1494-1527.

NATIONAL GEOGRAPHIC WILD. A Duck Gets a Prosthetic Leg | Wizard of Paws, in: Youtube, 5 de jun. de 2021. Disponível em: <A Duck Gets a Prosthetic Leg | Wizard of Paws - YouTube> Acesso em: janeiro de 2024.

NAPLES, V. L. Morphology, evolution and function of feeding in the giant anteater (*Myrmecophaga tridactyla*). Londres, UK: The Zoological Society of London, 1999. p. 19-41.

REIS, A. et al. Análise de estratégias de impressão 3D por método FDM (modelagem de deposição fundida). 2021. 27 f. Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Mecânica) - Universidade Sociedade Educacional de Santa Catarina, Joinville, 2021

REIS, D. de A. L. dos; et al. Biomodelos Ósseos Produzidos por Intermédio da Impressão 3D: Uma Alternativa Metodológica no Ensino da Anatomia Veterinária. *Revista de Graduação USP, [S. l.]*, v. 2, n. 3, p. 47-53, 2017. DOI: 10.11606/issn.2525-376X.v2i3p47-53.

ROMERO, A. D. C. B.; DE AGUIAR, P. H. P. Impressão em Três Dimensões. *JBNC - JORNAL BRASILEIRO DE NEUROCIRURGIA*, v. 26, n. 3, p. 195-202, 31 mar. 2018.

SILVA, L. A. da; RODRIGUES, O. V. A digitalização ótica tridimensional no desenvolvimento de próteses. *In: 11º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design (P&D)*. 2014.

TAKAGAKI, L. K. Tecnologia de Impressão 3D. *Revista de Inovação Tecnológica*, São Paulo, vol. 2, n. 2, pp. 28-40, jul. 2012. Disponível em: <<http://rit.faculadeflamingo.com.br/ojs/index.php/rit/article/view/54>>. Acessado em maio de 2023.

TORRES, M. F. P., et al., Production of 3D-printed ovine stomach models for animal anatomy education. *CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES*, v. 17, n.1, p. 1339-1352, 2024. <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.1-073>

WILHITE, R.; WÖLFEL, I. 3D Printing for veterinary anatomy: An overview. *Anatomia, histologia, embryologia*, v. 48, n. 6, p. 609-620, 2019

WU, A. M. et al. The accuracy of a method for printing three-dimensional spinal models. *PLoS ONE*, v. 10, n. 4, p. 1-11, 2015.

ZAMITH, A. P. L. Lições de osteologia dos animais domésticos. *Anais da Escola Superior Agrícola Luiz de Queiroz, Piracicaba*, v. 3, 1946. p. 173-270.