



Faculdade de
Arquitetura, Artes,
Comunicação
e Design

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

DIGITALIZAÇÃO DE ESTRUTURAS BIOLÓGICAS NO DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL INSTRUCIONAL TÁTIL

Mauro Inácio Alves Junior

BAURU

2023

Departamento de Design

Av. Eng. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01 – Vargem Limpa,
Bauru | SP | Brasil | Fone: 14 3103-6000 Ramais: 6062 e 6054
E-mail: ddi.faac@unesp.br | www.faac.unesp.br

DEP/
ART/
AME
NTO
DESIGN

unesp 

MAURO INÁCIO ALVES JUNIOR

**DIGITALIZAÇÃO DE ESTRUTURAS BIOLÓGICAS NO DESENVOLVIMENTO DE
MATERIAL INSTRUCIONAL TÁTIL**

Trabalho de Conclusão de Curso em formato
de relatório descritivo.

Orientador: Fausto Orsi Medola

BAURU
2023

A474d

Alves Junior, Mauro Inácio

Digitalização de Estruturas Biológicas no Desenvolvimento de Material Instrucional Tátil / Mauro Inácio Alves Junior. -- Bauru, 2023

51 p. : tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Design) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design, Bauru

Orientador: Fausto Orsi Medola

1. Product design. 2. Impressão 3D. 3. Scanner ótico. 4. Material instrucional. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design, Bauru. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos aos professores pesquisadores Sr. Fausto Orsi Mêdola e Sr. Luis Carlos Paschoarelli, da Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design da UNESP - Campus Bauru; pelo apoio, confiança e amizade durante a presente pesquisa, além de providenciarem os laboratórios com os materiais necessários para o desenvolvimento dessa da melhor forma possível.

Aos pesquisadores do Programa de Pós-graduação em Animais Selvagens, a Srta. Livia Cristina Ambrósio, Sr. Luiz Gustavo Bicas e a Sra. Professora Associada Doutora Lígia Souza Lima Silveira da Mota, da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da UNESP - Campus Botucatu, pela confiança em compartilhar dois projetos de relevância, e pelo esforço conjunto em compreender as necessidades durante todo o processo.

À minha família, aos meus pais, Mauro Inácio Alves e a Aparecida de Roma Freitas Dias Alves, por todo o suporte e carinho durante todos esses anos, permitindo que me dedicasse de forma integral à graduação, pesquisa e projetos. A minha irmã, Mariana Alves pela fraternidade e suporte em diferentes momentos. A minha prima, Mirela Louise Alves, pelo incentivo na escolha e permanência no curso de Design. A minha companheira, Maria Clara dos Santos Alencar, pelo afeto, inspiração e ensinamentos nessa jornada.

A todos os projetos de extensão/pesquisa que tive oportunidade de participar, em especial ao CADEP, LEI e PACBaja, pelos momentos inesquecíveis e oportunidades únicas.

Agradecimentos a INDIGO, pelo suporte tecnológico durante o processo final de prototipação, com a disponibilização de equipamentos necessários.

Agradecimentos especiais ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, processos 120746/2021-2 e 304619/2018-3.

RESUMO

Design Ergonômico e Design Reverso são especialidades do Desenvolvimento de Projeto de Produto, que podem contribuir para a melhoria das atividades humanas e, conseqüentemente, para a qualidade de vida dos indivíduos. As atividades educacionais podem ser beneficiadas com estas especialidades, particularmente quando envolvem a aplicação destas novas tecnologias de Digitalização 3D no desenvolvimento de material instrucional. Neste sentido, a Digitalização 3D é observada na criação e produção de mapas e maquetes de espaços e edifícios, bem como em algumas estruturas biológicas (P.E. esqueletos); entretanto exigem procedimentos técnicos melhor definidos, especialmente quando aplicados na digitalização de estruturas biológicas da mastofauna brasileira. O objetivo deste estudo será verificar a aplicação de Scanner 3D de mesa na digitalização de diferentes estruturas biológicas para o desenvolvimento de modelos digitais e futuros modelos impressos, que servirão como material didático para o ensino das ciências biológicas para Pessoas com Deficiência Visual e no Ensino Superior, também com a distribuição via internet, do acervo produzido para universidades, museus, bibliotecas e pessoas físicas que possuam interesse. Para isto, serão realizados testes experimentais com um Scanner 3D de mesa, modelo EinScan-SE da SHINING 3D em condições laboratoriais, e a prototipação em impressora 3D por filamento. Os resultados foram analisados, gerando parâmetros de impressão e escaneamento, além de arquivos digitais para a impressão tridimensional em filamento dos produtos.

Palavras-chave: Digitalização 3D; Impressão 3D; Design Reverso; Biologia

ABSTRACT

Ergonomic Design and Reverse Design are specialties within Product Design Development that can contribute to the improvement of human activities and, consequently, to individuals' quality of life. Educational activities can benefit from these specialties, particularly when they involve the application of these new 3D scanning technologies in the development of instructional material. In this sense, 3D scanning is observed in the creation and production of maps and models of spaces and buildings, as well as some biological structures (e.g., skeletons); however, they require better-defined technical procedures, especially when applied to the digitization of biological structures. The objective of this study will be to verify the

application of a tabletop 3D scanner in the digitization of different biological structures for the development of digital models and future printed models, which will serve as teaching materials for the education of visually impaired individuals in biology sciences at the higher education level. Additionally, the study aims to plan the distribution of the produced content via the internet to universities, museums, libraries, and individuals who are interested. To achieve this, experimental tests will be conducted using an EinScan-SE tabletop 3D scanner from SHINING 3D under laboratory conditions, along with prototyping using a filament-based 3D printer. The results will be analyzed, generating methodological parameters and digital files for the three-dimensional filament printing of the products.

Palavras-chave: 3D Scanning; 3D Printing; Reverse Design; Biology

Sumário

1. INTRODUÇÃO	4
2. OBJETIVOS	5
2.1. Objetivos do estudo 1	6
2.2. Objetivos do estudo 2	7
3. MATERIAIS E MÉTODOS	7
3.1. Características do estudo e aspectos éticos	7
3.2. Objetos de Estudo	7
3.3. Métodos e Equipamentos	10
4. DESENVOLVIMENTO	11
4.1. Fundamentação sobre os processos	11
4.1.1. Escaneamento	11
4.1.2. Edição de malha	14
4.1.3. Impressão 3D	18
4.2. Estudo 1	20
4.2.1. Escaneamento - Estudo 1	20
4.2.2. Edição de malha - Estudo 1	22
4.2.3. Impressão 3D - Estudo 1	23
4.3. Estudo 2	25
4.3.1. Escaneamento - Estudo 2	25
4.3.2. Tratamento de malha - Estudo 2	26
4.3.3. Impressão 3D - Estudo 2	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
7. REFERÊNCIAS	46

1. INTRODUÇÃO

O Design Reverso se caracteriza pelo processo de desenvolvimento de produtos a partir de sua análise reversa (caracterizada no âmbito da Engenharia Reversa), aplicada ao Design de Produto (VELA, TRISKA e NASCIMENTO, 2017). Sua aplicabilidade tornou-se viável quando as novas tecnologias computacionais passaram a contribuir expressivamente no Desenvolvimento de Projeto de Produto, especialmente com os sistemas de digitalização e produção de objetos por meio da impressão 3D. E, apesar da expressiva evolução neste campo tecnológico, especialmente nas últimas décadas, um dos maiores desafios encontrados está em obter dados (informações digitais) com acurácia, das dimensões e formatos dos objetos digitalizados.

As tecnologias de captura e digitalização 3D foram inicialmente desenvolvidas e aplicadas para inspeções de peças e equipamentos fabris e industriais. Dezen-Kempter et al. (2015) mencionam respectivamente a aplicação dessas tecnologias nas áreas de arquitetura e médica odontológica, e destacam ainda aspectos positivos do uso desta tecnologia como a melhoria da eficiência na produção dos modelos; a recuperação instantânea de informações; a possibilidade de compartilhamento de informações via Internet com outros profissionais; redução de custos e de espaços para armazenamento, além da redução do risco de dano ou perda dos modelos, já que podem ser armazenados de maneira virtual.

Para o campo do Design Ergonômico, o acesso e a utilização dessas tecnologias aplicadas nas atividades educacionais poderia implicar na popularização e disseminação de produtos instrucionais mais adequados e satisfatórios aos usuários, com destaque para materiais didáticos desenvolvidos por tecnologias de Digitalização e Impressão 3D.

Esta preocupação é observada nos estudos de Arcand et al. (2019) para o desenvolvimento de material instrucional para pessoas com deficiência visual. Os autores sugerem a existência de conhecimentos em que, no momento de ensino, a abstração visual possa ser substituída por uma abstração tátil (p.e. a representação de um modelo em escala de estruturas arquitetônicas). Portanto, nota-se que os procedimentos de digitalização e impressão 3D podem se tornar recursos alternativos para a educação na área das Ciências Biológicas, em que a abstração tátil complemente a abstração visual. Um exemplo envolveria o ensino sobre uma

estrutura biológica de um local inacessível (pela distância), não apenas pela interação visual (visualização, análise e compreensão dos estudantes, por meio das imagens do referido animal), mas também pela tátil, ou seja, de modo a ampliar a capacitação da análise do objeto; bem como a efetiva percepção de sua forma, volume e funcionalidade estrutural. Além disso, amplia-se a possibilidade de implementação em escolas de diferentes partes do mundo.

Entretanto, torna-se necessário criar e investigar o melhor procedimento de digitalização e impressão 3D dessas estruturas biológicas, de forma a atender, com qualidade, a demanda do ensino escolar. Neste sentido, alguns autores já estudaram a aplicação desta técnica, a saber Hu et al. (2018), Haleem e Javaid (2018), Ares et al. (2013), D'apuzzo (2006), Treleaven e Wells (2007), e Lvbing et al. (2010), os quais complementam a base teórica para a proposta aqui apresentada.

De qualquer forma, sobre digitalização, impressão e registro de esqueletos da mastofauna selvagem, ainda não existem estudos ou registros expressivamente consideráveis que possam ser aplicados no desenvolvimento de materiais instrucionais. Apesar de existirem já algumas bibliotecas virtuais (Digital Life, 2022), os arquivos disponíveis também não apresentam condições para impressão 3D como se pretende aplicar no presente estudo, especialmente em espécies da mastofauna brasileira.

2. OBJETIVOS

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver estudos utilizando tecnologias de engenharia reversa e prototipagem rápida para desenvolver materiais instrucionais, divididos em dois estudos específicos. A proposta de desenvolvimento dos materiais foi uma iniciativa dos pesquisadores do Programa de Pós-graduação em Animais Selvagens, a Srta. Lívia Cristina Ambrósio, Sr. Luiz Gustavo Bicas e a Sra. Professora Associada Doutora Lígia Souza Lima Silveira da Mota, da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da UNESP - Campus Botucatu; que entraram em contato com o Sr. Professor Titular Luis Carlos Paschoarelli, da Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design da UNESP - Campus Bauru (figura 1). Dessa forma iniciaram uma proposta de Iniciação Tecnológica com o objetivo de fomentar a necessidade técnica que os pesquisadores apresentaram.

Figura 1: Equipe envolvida no projeto (Fonte: Acervo pessoal, 2022)



Um dos intuitos do desenvolvimento do projeto foi a divulgação dos materiais desenvolvidos para escolas, museus, instituições de ensinos ou pessoas interessadas que tenham a capacidade de prototipar os modelos.

2.1. Objetivos do estudo 1

O primeiro estudo tem como objetivo desenvolver um método de obtenção e tratamento de malhas em escaneamento 3D, e prototipagem de material didático instrucional para pessoas com deficiência visual, tendo como objeto de estudo serpentes peçonhentas e não peçonhentas. Neste sentido, buscou-se verificar agilidade e qualidade na reprodução de modelos virtuais (arquivos digitais), possibilitando a impressão 3D por filamento de modelos táteis, com melhores detalhes, definição e resistência; visando auxiliar estudos por audiodescrição.

Para o desenvolvimento dos modelos, tinha-se como requisitos de projeto a identificação, digitalização e prototipação das seguintes estruturas: Dentição, Escamas, Formato da Cabeça e Formato das Caudas de serpentes com diferentes características anatômicas. Tendo como objetivo final o desenvolvimento de material didático tátil para pessoas com deficiência visual, tinha-se como fator obrigatório a boa captura e reprodução das estruturas pequenas e texturas, também com a intenção de reprodução em escala original e ampliada para maior compreensão das estruturas no geral. Para isso foram selecionadas diferentes estruturas de espécies presentes no Brasil.

Além das estruturas propriamente ditas, foi requisitada a representação da locomoção das serpentes; no entanto, como se trata de algo não tátil, esse material foi desenvolvido a partir de modelagem de acordo com material teórico fornecido previamente.

2.2. Objetivos do estudo 2

O segundo estudo teve por objetivo avaliar a aplicação de escaneamento 3D de mesa por luz estruturada na digitalização de estruturas esqueletos da mastofauna selvagem, como crânios e mandíbulas de Lobo-Guará (*Chrysocyon brachyurus*), e outras espécies da fauna brasileira. Preparando os arquivos para atenderem os requisitos para material didático destinado ao ensino das Ciências Biológicas em ensino superior, adequando esses para prototipação em impressão 3D em filamento.

Para ambos os estudos planeja-se verificar a possibilidade de compartilhamento dos arquivos via internet por meio de repositórios e base de dados, permitindo maior democratização do ensino.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

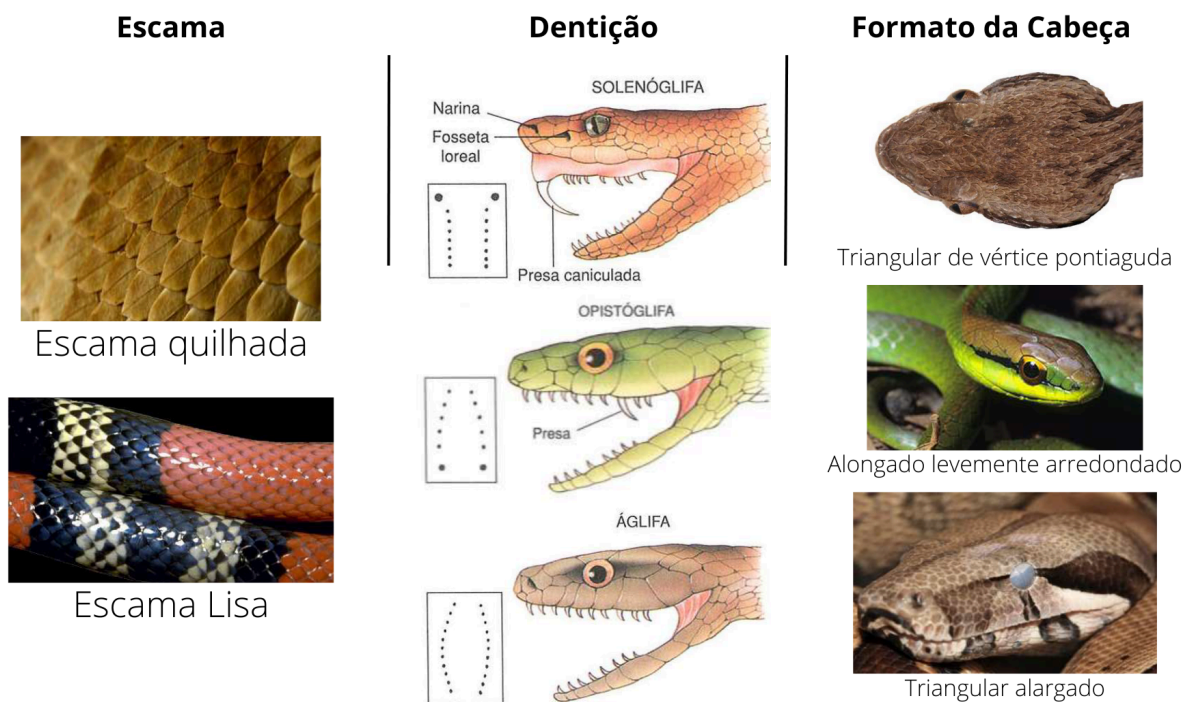
3.1. Características do estudo e aspectos éticos

O presente estudo caracteriza-se por uma abordagem exploratória, descritiva e aplicada. Considerando o uso de animais como objeto de estudo, o mesmo foi submetido e aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais - CEUA (Registro junto ao CONCEA – Conselho Nacional de Controle e Experimentação Animal: CIAEP/CONCEA nº 01.0115.2014), sob número 0195/2021, da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, UNESP - Campus Botucatu.

3.2. Objetos de Estudo

Para o primeiro estudo, foram utilizados como objeto de estudo os ofídios (serpentes) e suas características anatômicas (Figura 2), a saber: **Escama** (Quilhadas - Cascavel [*Crotalus durissus*] e Jararaca [*Bothrops jararaca*]; ou Lisas - Jiboia [*Boa constrictor*] e Cobra Verde [*Liophis typhlus*]; **Dentição** (Solenóglifas - Cascavel e Jararaca, Opistóglifa - Cobra Verde, e Áglifa - Jiboia); **Formato de Cabeça** (Triangular de Vértice Pontiaguda - Cascavel e Jararaca, Triangular Alargado - Jiboia, e Alongado Levemente Arredondado - Cobra Verde); e as **Caudas**. Os animais foram disponibilizados pelo CEVAP - Centro de Estudos e Venenos Animais Peçonhentos, UNESP - Campus Botucatu.

Figura 2: Estruturas escaneadas na primeira coleta (Fonte: Acervo pessoal, 2022)



Para o segundo estudo, a seleção das espécies selvagens bem como das estruturas anatômicas impressas, foram definidas de acordo com a disponibilidade de cadáveres, o material fornecido foi proveniente de animais que vierem à óbito do Centro de Estudos e Pesquisa em Animais Silvestres (CEMPAS) da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ) UNESP, campus de Botucatu e do Parque Zoológico Municipal de Bauru, assim como animais das coleções anatômicas da UNIP campus Bauru (Figura 3), e do Departamento de Zoologia do Instituto de Biociências do (IBB) UNESP, campus de Botucatu.

Figura 3: Sala de coleção anatômica da UNIP campus Bauru (Fonte: Acervo pessoal, 2022)



Foram utilizadas os seguintes animais: Onça Parda (*Puma concolor*), Jaguaritica (*Leopardus pardalis*), Gato do Mato (*Leopardus tigrinus*), Lobo Guara (*Chrysocyon brachyurus*), Macaco Pregos (*Sapajus*), Tamanduá Bandeira (*Myrmecophaga tridactyla*), Tamanduá Mirim (*Tamandua tetradactyla*), Tatu galinha (*Dasypus novemcinctus*), Gambá (*Didelphis*), Capivara (*Hydrochoerus hydrochaeris*), Cateto (*Pecari tajacu*), Paca (*Cuniculus paca*), Cutia (*Dasyprocta*), Cuica (*Marmosops paulensis*), Lontra (*Lutrinae*), Veado Catingueiro (*Mazama gouazoubira*), assim como chifres veado catingueiro um bico de Tucano (*Ramphastidae*) e uma carapaça e plastrão de Tigre D'água (*Trachemys dorbigni*). Este projeto para fins de pesquisa científica/ensino foi de acordo com os preceitos da Lei nº 11.794, de 08 de outubro de 2008, do Decreto nº 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal – CONCEA, pelo Protocolo CEUA 0376/2023.

O trabalho engloba espécies e/ou famílias com características distintas devido à evolução da integração morfológica, que busca relacionar a forma à função. Em outras palavras, a estrutura morfológica harmoniza-se com a função ecológica desempenhada. A onça-parda pertencente à ordem Carnívora, alimenta-se de carne e possui dentes triangulares e pontiagudos, especializados para capturar e dilacerar presas, em contraste, 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, alimentando-se principalmente de cupins e formigas, não possui dentes. Essas diferenças morfológicas não se restringem à dentição e podem abranger várias outras estruturas cranianas, como o tamanho do rosto e o posicionamento e o tamanho da órbita ocular, com isso, as amostras foram agrupadas com base nos táxons.

As amostras de crânios de Onça Parda, Jaguaririca, Gato-do-mato, Lobo Guará e Lontra foram segregadas como representantes da ordem Carnívora; o Tamanduá-Bandeira, Tamanduá-Mirim e Tatu-Galinha são representantes dos Xenarthra; o Macaco-prego é representante da ordem Primata; a capivara, paca e cutia foram categorizadas como roedores; O gambá e a cuíca são exemplares de marsupiais; o veado-catingueiro e o cateto foram classificados como artiodáctilos.

3.3. Métodos e Equipamentos

Para a metodologia de obtenção dos arquivos digitalizados foi escolhida a tecnologia denominada “Digitalização por Luz Estruturada”, essa tecnologia utiliza um emissor de luz e dois sensores ópticos aliados à uma câmera. O emissor projeta um padrão de luz sobre a estrutura a ser escaneada, e os sensores fazem aquisição da reflexão de luz por meio de triangulação. Dessa forma, o software interpreta as estruturas, gerando uma nuvem de pontos tridimensionais (D’APUZZO, 2006).

As nuvens de pontos obtidas são então transformadas em malhas triangulares, que podem ser utilizadas para diferentes funções, como engenharia reversa, validação GD&T, comparação CAD/Malha, e no caso dos estudos, a utilização do termo popular “Scan2print”, que refere a correção das malhas obtidas com a intenção de prototipação em tecnologias de qualidade intermediária, como as impressoras de filamento, sem a necessidade de modelagem posterior.

Para o estudo foi utilizado o Scanner EinScan-SE, desenvolvido pela SHINING 3D, com software próprio EXScan SE v3.1.0.1, instalado em um notebook LENOVO IDEAPAD Z400, com as características de sistema: Windows 10 (64 bits), Memória RAM de 8GB, processador i7 3520m, Placa gráfica 2GB de VRAM, e monitor: 1920x1080. O scanner também possui uma mesa giratória no qual o objeto deve ser disposto. O equipamento possui os requisitos mínimos: Windows 7/8/10 (64 bits), Memória RAM de 16GB ou superior, processador i5 3ª geração ou superior, placa gráfica 2GB de VRAM ou superior, e monitor: 1920x1080. Os equipamentos

estão disponíveis no Laboratório de Ergonomia e Interfaces, da Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design, da UNESP - Campus Bauru.

Para a edição e correção das malhas, utilizou-se o Software GOM Inspect versão gratuita, em um notebook DELL Inspiron 7580. Esse software tem como propósito principal a comparação geométrica de arquivos CAD com as malhas de produtos de engenharia, visando entender as limitações tecnológicas dos equipamentos de produção. No entanto, o software apresenta também uma seção voltada para correção e edição de malhas. A escolha deste software se deu pelo fato de possuir versão gratuita, além de contar com interface simples e ferramentas de alta precisão, voltadas para reparo das malhas. Outros softwares como o opensource Blender e o Fusion 360 da Autodesk também foram cogitados, devido ao fato de possuírem versões grátis e serem de fácil acesso, mas a complexidade das suas ferramentas dificultam seu uso. Para modelagem da locomoção das serpentes, foi utilizado o software Fusion 360.

A preparação dos arquivos para impressão 3D, particularmente o fatiamento dos arquivos, foi realizada no software Ultimaker CURA 4.13.1. E a prototipação dos modelos nas impressoras: Ender-3 (Creality), modelo BIQU B1 (Bigtreetech), com os filamentos PLA (Ácido Polilático), ABS (Acrilonitrila butadieno estireno); disponíveis no CADEP - Centro Avançado de Desenvolvimento de Produto da Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design, da UNESP - Campus Bauru.

4. DESENVOLVIMENTO

4.1. Fundamentação sobre os processos

Devido aos processos de escaneamento, edição de malha, e impressão 3D serem utilizados em ambos os estudos, considerou-se pertinente realizar um aprofundamento prévio nas capacidades, qualidades e preferências em relação aos materiais e processos.

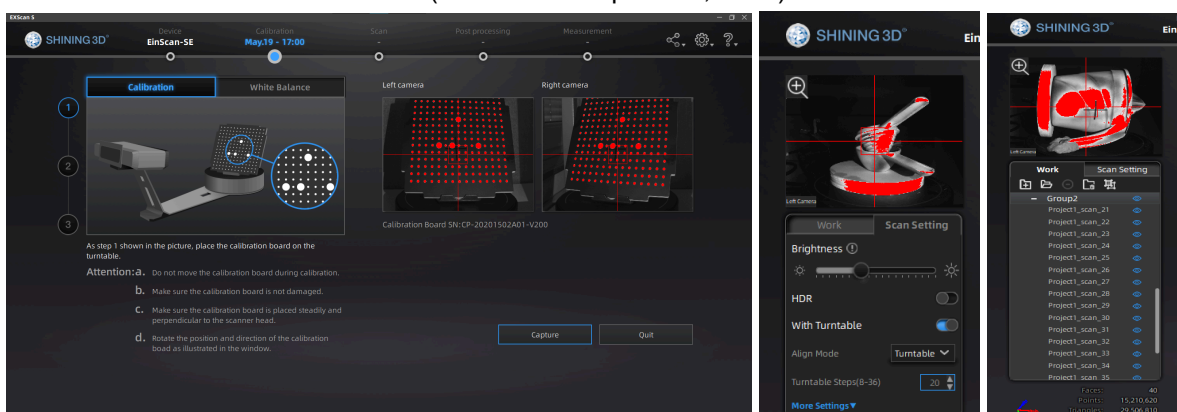
4.1.1. Escaneamento

O processo de escaneamento precisou ser preparado a partir de alguns parâmetros. Após calibragem, cria-se um “*work*”, que irá funcionar como um arquivo contendo todas as informações do objeto escaneado. Este arquivo se divide em “*projects*”, os quais apresenta as pastas “*group*” e, estes, organizam os “*takes*”. Cada “*take*” constitui-se em um processo de aquisição de dados, ligado diretamente à rotação da mesa giratória. Ou seja, um “*group*” com 20 “*takes*” irá contar com 20 nuvens de

pontos, os quais foram obtidos durante a rotação total da mesa. Dessa forma, quanto maior o número de “takes”, maior o tempo para rotacionar a mesa por completo. Os “groups” podem ser alinhados entre si para complementar furos, ou regiões que não foram alcançadas entre os “takes”, facilitando a obtenção de dados.

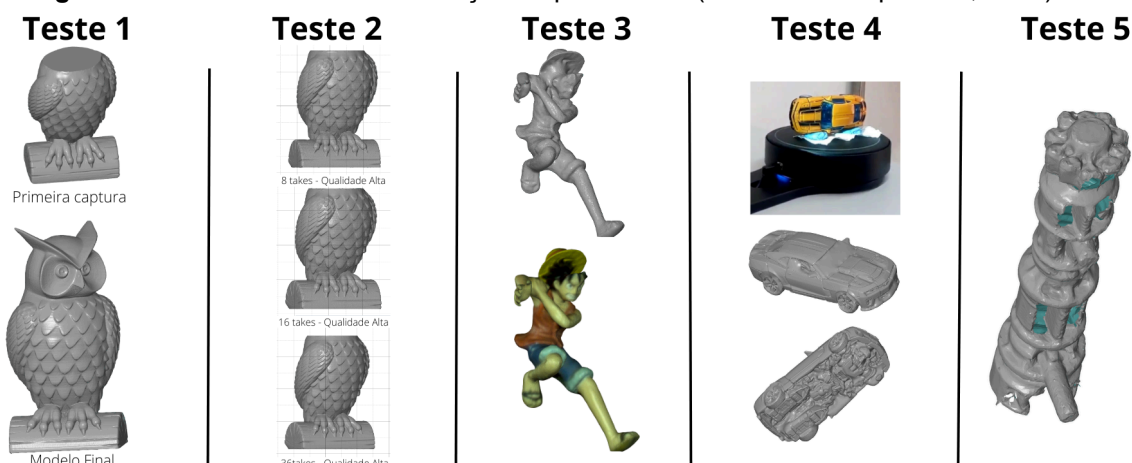
Em relação aos parâmetros, pode-se definir o brilho do padrão de luz, ajustando-o de acordo com a coloração do objeto. Também é possível definir a quantidade de “takes”, sendo possível obter entre 8 e 36 “takes”. Há ainda um ajuste de velocidade entre os “takes”, mas recomenda-se que não seja alterado. Pode-se também selecionar entre o uso de cores e texturas, ou somente o escaneamento tridimensional. Por fim, escolhe-se o método de alinhamento, no entanto, neste modelo de scanner o alinhamento pode ser realizado exclusivamente pela geometria, no qual se utiliza as formas do objeto para alinhar os “takes” (figura 4).

Figura 4: Interface de Calibração, Ajuste de parâmetros, e Organização de grupos do EinScan-SE (Fonte: Acervo pessoal, 2023)



Antes do processo de digitalização propriamente dito, foram realizados cinco testes (Figura 5) para definição dos parâmetros de escaneamento, os quais foram decisivos no preparo e escaneamento das serpentes. Caracterizou-se pelo escaneamento de objetos cotidianos e brinquedos, visto que possuem formas complexas e variabilidade de cores.

Figura 5: Testes realizados na obtenção de parâmetros. (Fonte: Acervo pessoal, 2022).



O teste de volume máximo verificou escaneamento de objetos com dimensões superiores a da mesa giratória. Para isto, foi escaneado (em dois “groups”) um objeto tridimensional figurativo (“coruja”), com 355 mm de altura. Na segunda tomada, o objeto foi girado sobre a mesa giratória, realizando uma captura complementar para alinhamento posterior, tendo ocorrido satisfatoriamente.

O teste de influência da quantidade de *takes* verificou se a quantidade de *takes* influencia na qualidade da malha, nos detalhes do modelo virtual e no tempo de escaneamento. Foi utilizado o mesmo objeto do teste anterior, com 8, 16 e 36 *takes*; e tempos de 3, 5 e 15 minutos respectivamente. As malhas apresentaram pouca alteração de qualidade, com a presença de ruídos nos *takes* mais curtos. Entendeu-se então que a melhor opção seria uma quantidade média de *takes*, equilibrando o tempo com a qualidade, evitando ruídos e furos nas malhas.

O teste de influência de cores e texturas baseou-se na digitalização de cores e texturas como função complementar, visando possível uso para desenvolvimento futuro de protótipos destinados à pessoas com baixa visão. Para isto, foi utilizado um modelo (“boneco”) colorido; e realizadas duas capturas de 20 *takes*, com e sem textura, alcançando os tempos de 20 e 10 minutos respectivamente. O uso de texturas aumentou o ruído da peça, não sendo viável para os estudos.

O teste de movimentação brusca entre “groups” objetivou verificar a obtenção de superfícies distintas com elevada qualidade. Para tal, foi digitalizado um brinquedo (o qual possui superfície complexa) fixado com massa plástica “plastilina” sobre a mesa giratória. Os resultados apontaram satisfatória precisão, facilitando a complementação de partes complexas. Essa verificação foi essencial para o planejamento de suportes e do posicionamento das estruturas.

O teste de repetição objetivou identificar e registrar dados de estruturas que apresentam elementos simétricos axialmente, geralmente resultando em falhas na malha e repetição desses elementos, devido à falta de informação geométrica na orientação tridimensional do modelo. Os resultados apresentaram furos e falta de qualidade em algumas partes do objeto.

Após a realização dos testes foi decidido que um conjunto de 20 takes como padrão para o escaneamento das estruturas, com intensidade de brilho de acordo com o objeto, e sem o uso de cores e texturas. Assim, foi possível obter cada um desses conjuntos em aproximadamente 10 minutos, com a necessidade de 2 ou mais “groups” para cada serpente por completo.

Para auxiliar na digitalização foram desenvolvidos suportes produzidos com palitos de madeira pintados de preto (para não atrapalharem no escaneamento) e fixados em “plastilina”, permitindo a angulação entre os “groups” (Figura 6-A). Também foi desenvolvido um suporte com plástico translúcido para apoiar o corpo das serpentes, com a elevação da cabeça dessas (Figura 6-B).

Figura 6: À esquerda, suportes de fixação dos crânios (A). À direita, suporte translúcido (B). (Fonte: Acervo pessoal, 2022).



(A)



(B)

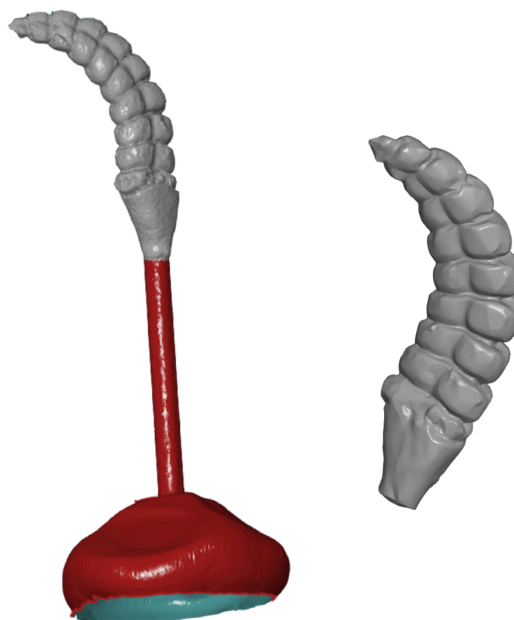
4.1.2. Edição de malha

Os arquivos digitais foram convertidos de nuvem de pontos para malhas no formato STL, e posteriormente, editados no software GOM Inspect. Procedimentos de correção foram necessários e ocorreram na seguinte ordem: 1 - remoção de estruturas de suporte; 2 - remoção de ruídos; 3 - reparo de estrutura; 4 - fechamento de furos; 5 - melhoria na malha; 6 - adaptação para impressão; 7 - última verificação de erros; e 8 - exportação do arquivo digital.

As estruturas de suporte (palitos, plastilina e suporte plástico) são igualmente escaneados e precisam ser excluídos do arquivo digital (Figura 7). Este

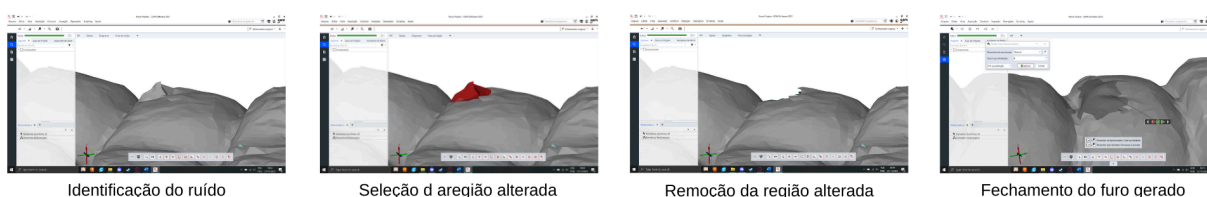
procedimento deu-se com a seleção total ou parcial dessas regiões e consequente exclusão; e os “vazios” desta remoção seriam reparados posteriormente.

Figura 7: Remoção das estruturas de suporte. (Fonte: Acervo pessoal, 2022)



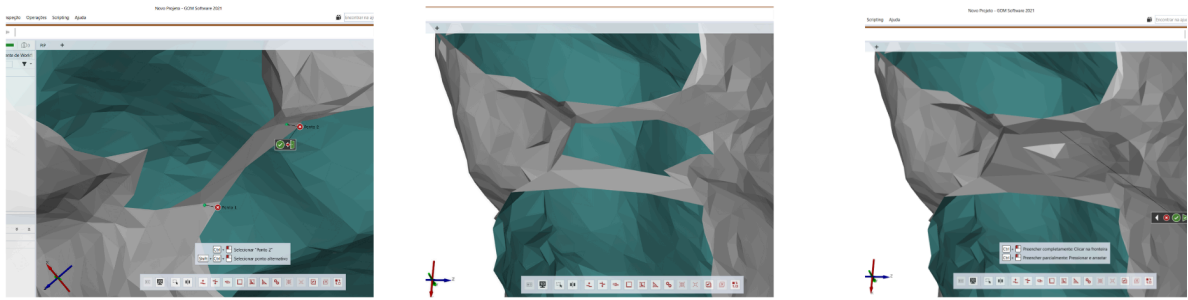
Os ruídos se caracterizam pela formação de pequenas estruturas pontiagudas (em formato de pirâmide), gerados no momento do alinhamento das nuvens de pontos. Apesar de minúsculos, atrapalham no momento do “fatiamento” do modelo para impressão. Sua remoção envolve a identificação, seleção e exclusão da região, e correção da deformação gerada pela remoção da região. Apesar de simples, é um processo que demanda tempo e atenção para reconhecimento das regiões de erro (Figura 8).

Figura 8: Remoção de ruídos. (Fonte: Acervo pessoal, 2022)



O reparo da estrutura geralmente ocorre pelas limitações da tecnologia ou erros de alinhamento, exigindo a comparação visual da malha com o objeto original e correção particular de cada uma dessas estruturas. Uma ferramenta para esse reparo seria a “ponte de malha”, que cria uma ponte baseada nos triângulos selecionados, permitindo a alteração da tangência da malha (Figura 9).

Figura 9: Reparo da Estrutura. (Fonte: Acervo pessoal, 2022).

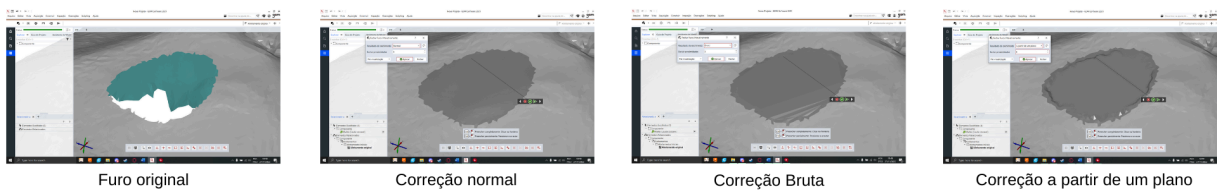


Criação das pontes

Preenchimento dos furos

O fechamento dos furos da malha serve tanto para manter a textura e visual da estrutura original, como para gerar uma malha sem erros para o momento do fatiamento. O fechamento deve ser realizado com base no objeto de estudo. Permitindo ajuste fino de quanto a malha a ser fechada interage com suas as bordas, com acabamento suave ou grosseiro (Figura 10).

Figura 10: Fechamento de furos. (Fonte: Acervo pessoal, 2022).



Furo original

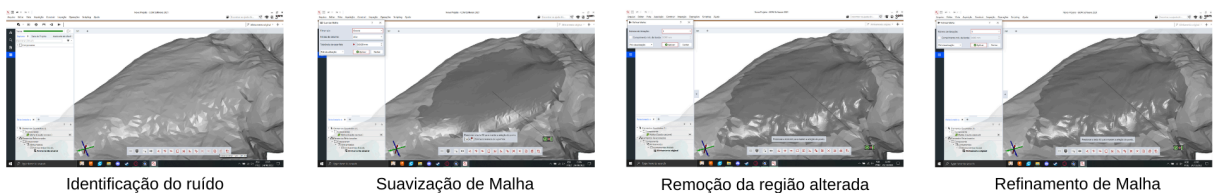
Correção normal

Correção Bruta

Correção a partir de um plano

A melhoria da malha é realizada com ferramentas de suavização ou refinamento, que atuam com um tratamento geral nos triângulos da região selecionada (Figura 11).

Figura 11: Melhoria da malha. (Fonte: Acervo pessoal, 2022).



Identificação do ruído

Suavização de Malha

Remoção da região alterada

Refinamento de Malha

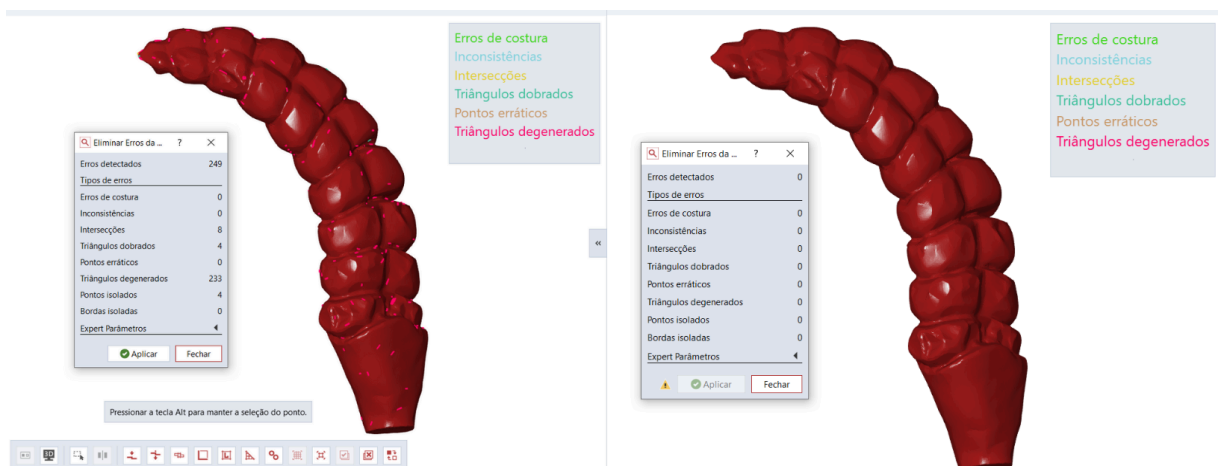
O fatiamento para impressão depende da criação de uma região plana, a qual serve de fixação na mesa da impressora. Para isso, pode-se cortar a malha na região desejada e corrigir o furo gerado a partir de um plano (figura 12).

Figura 12: Adaptação para impressão. (Fonte: Acervo pessoal, 2022).



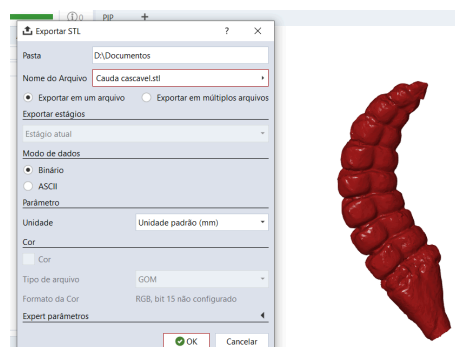
Para garantir que não existam problemas de leitura da malha, torna-se necessário verificar a presença de erros. Para isso, usa-se a função “eliminar erros da malha”, que permite a verificação e correção automática expressiva dos mesmos; e indica, de modo cromático, os erros que não podem ser corrigidos automaticamente, facilitando sua identificação para correção individual (Figura 13).

Figura 13: Verificação de erros. (Fonte: Acervo pessoal, 2022).



A oitava e última etapa no tratamento das malhas é a exportação. Neste caso, seleciona-se a malha que deseja ser exportada, salvando o arquivo em extensão “.STL” (figura 14). Esta extensão mostra-se ideal para compartilhamento em diversas plataformas, sendo a mais empregada nas comunidades de impressão 3D, devido a qualidade geométrica do modelo e tamanho reduzido do arquivo digital.

Figura 14: Exportação da malha. (Fonte: Acervo pessoal, 2022).



4.1.3. Impressão 3D

Para a prototipagem das estruturas, realizou-se o fatiamento dos arquivos com o software Ultimaker CURA 4.13.1. Quanto à matéria-prima de impressão dos protótipos, optou-se por empregar PLA (*Polylactic Acid Biopolymer*), devido a sua melhor trabalhabilidade e custo-benefício. Este polímero, e o ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*), os polímeros termoplásticos mais comuns utilizados para o processo de impressão 3D (POKHARNA; GHANTASALA; ROZHKOVA, 2021). Entretanto, o ABS necessita de controle térmico, apresentando problemas em impressoras de mesa aberta como a utilizada inicialmente no estudo.

Com vistas a garantir qualidade técnica (geometria e precisão tridimensional) do material instrucional, mesmo com “prejuízo” no tempo de impressão e quantidade de matéria-prima, foram analisados e especificados os seguintes parâmetros: altura da camada; espessura da parede; quantidade de camadas na parede; espessura do topo e base; preenchimento; temperatura do bico; temperatura da mesa; velocidade de impressão; velocidade da ventoinha; Suporte e Adesão à Mesa.

O parâmetro “altura da camada” (*quality*) define a altura de cada camada da impressão, permitindo aumentar a espessura e diminuir o tempo de impressão; ou diminuir a espessura e melhorar a qualidade da textura. Neste sentido, foi definida a altura de 0.12 mm para protótipos pequenos, ou que necessitem de qualidade máxima em relação a textura (escamas), e altura de 0.2mm para os protótipos maiores e que apresentem mais relevância em relação a estruturas (crânios).

Já o parâmetro “espessura da parede” (*wall thickness*) garante o nível de resistência das paredes externas. Quanto mais espessas, mais resistentes; porém demandam maior tempo de impressão. Devido ao baixo esforço mecânico que os protótipos seriam submetidos (manipulados tatilmente pelas pessoas com deficiência visual), a espessura foi de 1.2mm. De modo associado a este parâmetro, define-se a “quantidade de camadas na parede” (*wall line thickness*), cuja escolha foi de três camadas. O parâmetro “espessura do topo e base” (*top/bottom thickness*) garante a espessura das áreas horizontais da impressão, sendo que espessuras maiores garantem maior sucesso no processo da impressão, a espessura adotada foi de 0,84 mm. O “preenchimento” (*infill*) caracteriza a densidade do objeto e é definido em porcentagem. Preenchimentos maiores garantem maior resistência estrutural, mas gastam mais material e demandam mais tempo de impressão.

Devido ao baixo esforço aplicado nas atividades de manipulação dos protótipos foi definido o valor de 15%, com padrão cúbico.

O parâmetro “temperatura do bico” (*hotend*) depende das características no material do filamento e situa-se na faixa de 180°C a 220°C. Nesse sentido, foram impressas amostras de torres de temperatura (figura 15), com variação da “temperatura de bico”, em diferentes níveis, as quais permitiram definir a temperatura de 190°C para a impressora BIQU B1, mas esse parâmetro deve ser revisado de acordo com o fornecedor do insumo e estrutura da impressora.

Figura 15: Torre de temperatura para PLA e ABS. (Fonte: Acervo pessoal, 2022).



O parâmetro “temperatura da mesa de impressão” (*build plate temperature*) garante aderência e fixação da peça no momento da impressão e foi utilizada a temperatura de 70°C, recomendado pelo fabricante do equipamento. Já o parâmetro “velocidade de impressão” (*print speed*) define quantos milímetros por segundo o bico extrusor percorre. Velocidades menores garantem melhor fixação do filamento sobre as camadas, no entanto aumentam consideravelmente o tempo de impressão. Dessa forma, foi adotada a velocidade de 60mm/s. A “velocidade da ventoinha” (*fan speed*) é o parâmetro que influencia no tempo de solidificação do material depositado, garantindo seu resfriamento. Isto depende da matéria-prima utilizada e, considerando o uso do PLA, a velocidade foi de 100%.

Os dois últimos parâmetros são o “suporte” (*support*) e a “adesão à mesa” (*build plate adhesion*). “Suportes” são estruturas que apoiam as partes do protótipo que se apresentam com ângulos acentuados (p.e. 45°). Visando o adequado uso da matéria-prima, foi escolhido o suporte em modo “árvore” (*tree*), que cria pequenos “troncos” de acordo com a disposição do objeto. Já a adesão à mesa (*build plate adhesion*) são padrões de deposição de material criados antes do início da impressão do objeto principal, com a função de garantir que haja filamento no bico de impressão, e seja depositada uma camada ao redor do objeto, melhorando sua

adesão. Neste sentido, com o propósito de melhorar a adesão do objeto foi definida a função Brim. O resumo dos parâmetros definidos foi reunido na seguinte tabela:

Tabela 1: Parâmetros utilizados na impressão dos protótipos. (Desenvolvido pelos autores, 2022)

Parâmetro	Valor
Filamento	PLA
Altura de Camada	Escamas: 0.12mm; Crânios:0.2mm
Espessura da Parede	1.2mm
Quantidade de Camadas na Parede	3
Espessura do Topo e Base	0.84mm
Preenchimento	15% Cúbico
Temperatura do Bico	190°C - 210°C (verificar insumo e torre)
Temperatura da Mesa	70°C
Velocidade de Impressão	60mm/s
Velocidade da Ventoinha	100%
Suporte	Modo Árvore - 5% de Preenchimento
Adesão a Mesa	Brim - 8mm

4.2. Estudo 1

O primeiro estudo teve como objetivo desenvolver material instrucional para pessoas com deficiência visual, para isso foram utilizadas as três etapas apresentadas anteriormente, sendo elas o escaneamento, edição de malha e prototipação em impressão 3D por filamento.

4.2.1. Escaneamento - Estudo 1

Com o objetivo de realizar um teste inicial nos objetos de estudo foram obtidos os arquivos digitais contendo os crânios da Cascavel, Jararaca, Jiboia e Cobra Verde, e cauda da Cascavel. Em segundo momento, realizou-se a digitalização da cabeça de “Cascavel”, “Cobra Verde” e “Jiboia”, além da escama de “Jiboia” e “Cobra Verde” (Figura 16). Todos os animais estavam em estado de conserva e fazem parte de uma coleção didática do Centro de Estudos e Venenos Animais Peçonhentos (CEVAP-UNESP) e o procedimento foi realizado no Laboratório Didático do Departamento de Ciências Químicas e Biológicas do Instituto de Biociências de Botucatu da UNESP.

Figura 16: Serpentes em conserva. (Fonte: Acervo pessoal, 2022).



Para o escaneamento planejou-se empregar os mesmos suportes dos crânios (figura 17), no entanto, foram encontradas dificuldades para posicionar as serpentes, devido a rigidez dos espécimes em conserva. Da mesma maneira, foram observadas limitações tecnológicas durante o escaneamento da “Cobra Verde”, que sofreu escurecimento das escamas, em decorrência do processo de conserva, dificultando a reflexão dos padrões de luz e obtenção da nuvem de pontos.

O procedimento de escaneamento (retirada da conserva, preparação do suporte, preparação sobre a mesa giratória, realização do escaneamento e devolução no meio de conserva) de cada serpente, durou aproximadamente 1h30min. Em média foram necessárias três sessões de escaneamento para cada serpente, incluindo a necessidade de alinhamento manual de alguns arquivos. Todo este procedimento demonstra que o uso de serpentes em conserva foi uma opção que proporcionou conforto e segurança dos humanos e animais, especialmente quando comparado à manipulação de espécimes vivos, os quais aumentariam as chances de erros e acidentes.

Figura 17: Suportes e escaneamento da segunda coleta. (Fonte: Acervo pessoal, 2022).



4.2.2. Edição de malha - Estudo 1

Após o escaneamento, os arquivos digitais foram transformados em malhas no formato STL, com o total de 13 malhas e, posteriormente, editados no software GOM Inspect. Para melhor organização foram separados entre o escaneamento dos **Crânios e Cauda** (figura 18), e o escaneamento das **Cabeças** (figura 19).

Figura 18: Malhas dos crânios e cauda obtidas e editadas. (Fonte: Acervo pessoal, 2022).

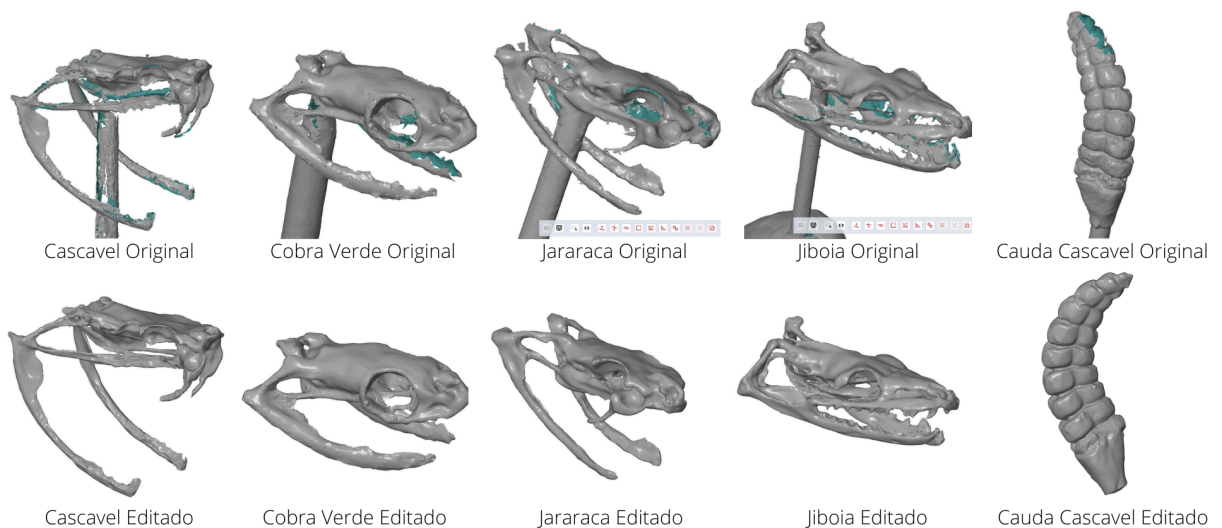
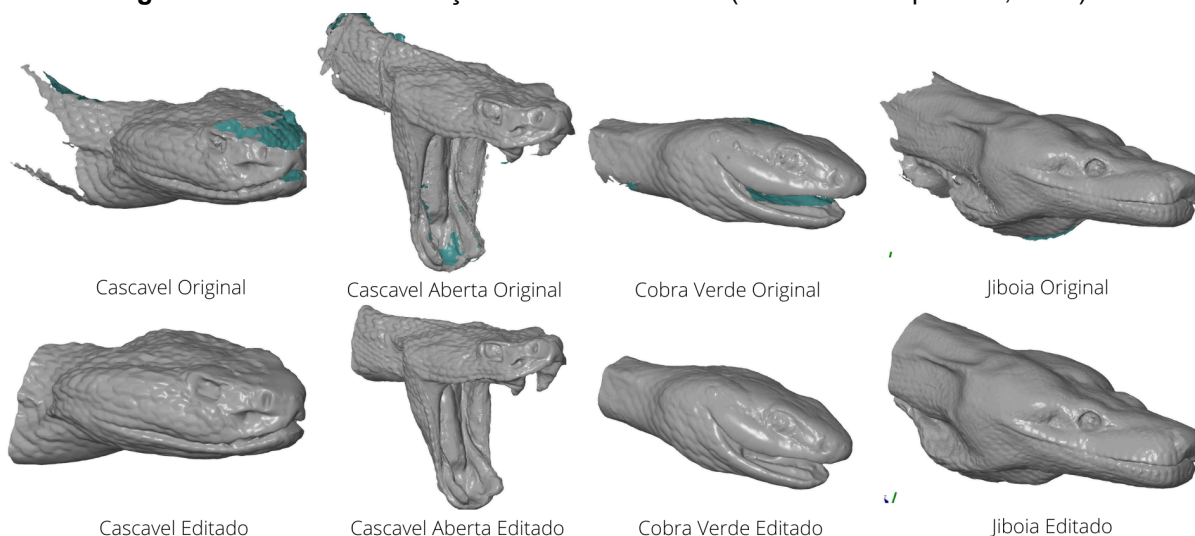


Figura 19: Malhas das cabeças obtidas e editadas. (Fonte: Acervo pessoal, 2022).



Foram necessários de 30 minutos a 2 horas para a edição de cada malha, de acordo com a complexidade das estruturas e ruídos apresentados na geração das malhas. Com o intuito de facilitar o posicionamento no momento do fatiamento, foram realizados cortes planos em regiões estratégicas, permitindo manter detalhes sem grande utilização de suportes, além de manter a qualidade das partes importantes em relação a textura/estruturas.

4.2.3. Impressão 3D - Estudo 1

A partir dos arquivos digitais, foram prototipados os primeiros modelos dos crânios das serpentes (Figura 20A). A preparação e a impressão se mostraram problemáticas devido à ausência de superfícies planas do objeto de estudo e sua espessura extremamente fina. Dessa forma, os resultados não foram muito positivos, com destaque às “quebras” dos modelos durante a retirada dos suportes. A cauda da Cascavel não apresentou problemas durante a impressão (Figura 20B).

Figura 20: À esquerda, modelos do crânio de Cobra Verde em escalas original e 200% crânios (A). À direita, modelos de cauda de Cascavel (B). (Fonte: Acervo pessoal, 2022).



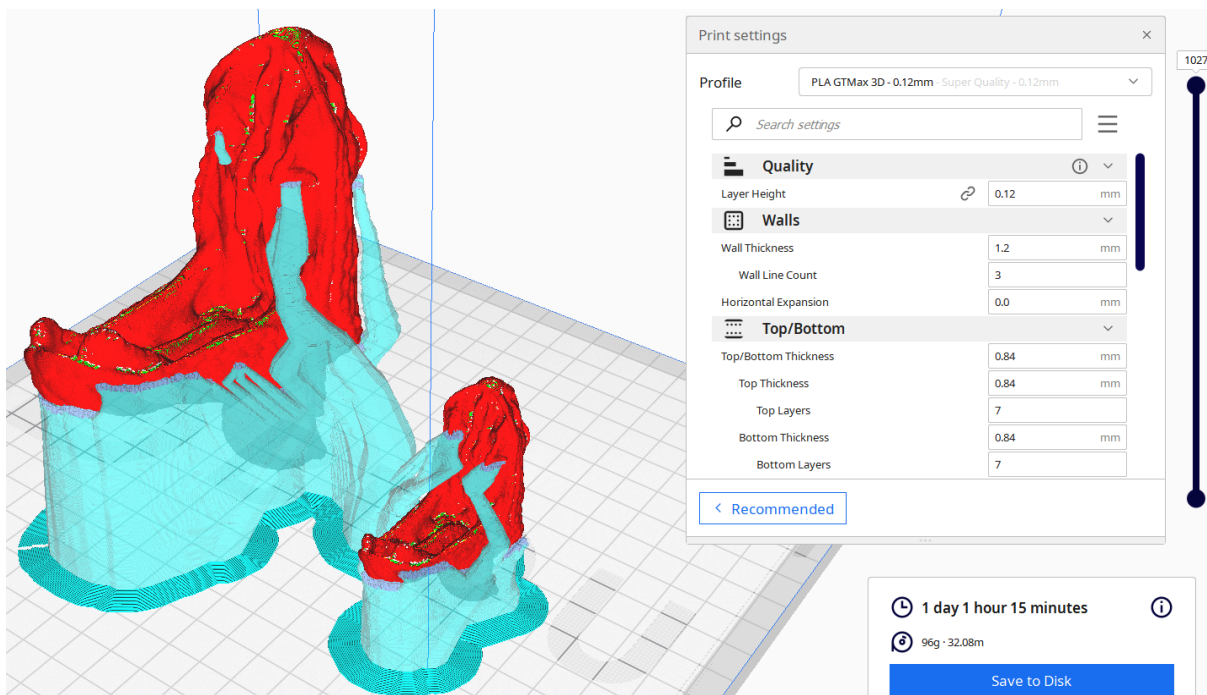
Modelos crânio Cobra Verde (A)



Modelo cauda Cascavel (B)

Com as malhas preparadas, os arquivos foram planejados para serem impressos em dois tamanhos distintos: em escala real e em escala ampliada, com limite de tamanho de 120 mm de altura (figura 21).

Figura 21: Orientação e escala de impressão (Fonte: Acervo pessoal, 2022)



A partir da preparação e definição dos parâmetros de impressão, foram impressos os protótipos de material instrucional didático tátil - a saber: cabeças de Cascavel e Cobra verde, Escama de Cascavel, Cauda de Cascavel - em diferentes escalas (Figura 22), os quais serão utilizados na aprendizagem de Pessoas com Deficiência Visual.

Figura 22: Modelos impressos serpentes (Fonte: Acervo pessoal, 2022).



Para impressão total dos modelos foram necessárias 87 horas e 43 minutos, e utilizados 407 gramas de filamento. Esses valores referem-se às peças impressas na BIQU B1, não considerando os descartes dos suportes. Pode-se considerar o tempo utilizado para outras impressoras de entrada encontradas no mercado.

4.3. Estudo 2

O segundo estudo teve como objetivo desenvolver material instrucional para ensino no nível superior e para isso foram utilizadas as três etapas apresentadas anteriormente, sendo elas o escaneamento, edição de malha e prototipação em impressão 3D por filamento.

4.3.1. Escaneamento - Estudo 2

Para o segundo estudo, foram escaneadas 41 estruturas, sendo essas os modelos de **Crânio** de Capivara, Cateto, Coelho, Cuica, Cutia, Gambá, Gato do Mato, Jacaré, Jaguatirica, Lobo Guará, Lontra, Macaco Prego, Onça Parda, Paca, Pato, Tamanduá Bandeira, Tamanduá Mirim, Tatu, Veado-Catingueiro (parcialmente quebrado) (figura 23), ; **Mandíbula** de Capivara, Cateto, Coelho, Cuica, Cutia, Gambá, Gato do Mato, Jacaré, Jaguatirica, Lobo Guará, Lontra, Macaco Prego, Onça Parda, Paca; **Chifres** de Veado-Catingueiro; Casco de Tartaruga-Tigre-D'água, além de **Escápula**, **Fêmur**, e **Úmero** de Tamanduá Bandeira.

Figura 23: Objetos escaneados no estudo 2. (Fonte: Acervo pessoal, 2023)



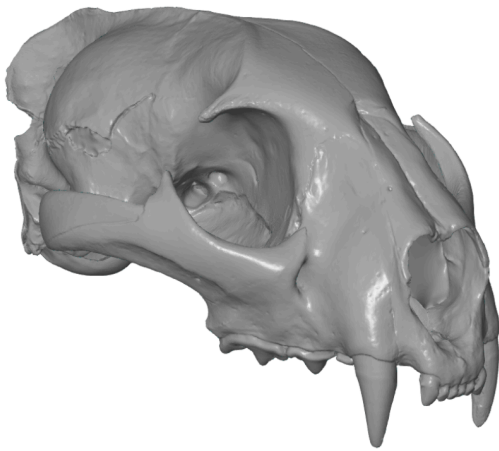
As estruturas digitalizadas se mostraram dimensionalmente maiores que as do Estudo 1, facilitando a obtenção de detalhes e texturas. No entanto, por vezes serem maiores que o tamanho geral da mesa, foi necessário atenção ao posicionamento e quantidade de tomadas para obtenção total dos modelos.

Cada estrutura levou tempo médio de 30 minutos para digitalização completa, com tempo total aproximado de 22 horas, sendo necessárias 4 coletas para obter todas as estruturas desejadas, foram realizadas no LEI - Laboratório de Ergonomia e Interfaces, e no CADEP - Centro Avançado de Desenvolvimento de Produtos.

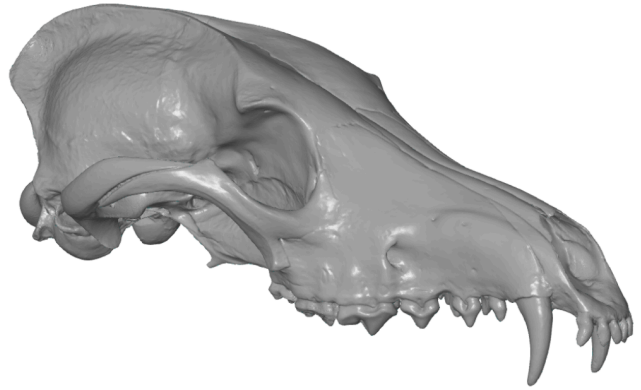
4.3.2. Tratamento de malha - Estudo 2

Da mesma forma que o primeiro estudo, foi realizada a edição das malhas no software GOM Suite, alcançando com sucesso detalhes relevantes para os materiais instrucionais, sendo obtidas 19 malhas de **Crânios** (figura 24), 14 malhas de **Mandíbulas** (figura 25), 4 malhas de chifres (figura 26), 1 malha de **Casco** (figura 27), e 4 malhas específicas de Tamanduá Bandeira (figura 28). O tempo de edição de malha foi de 30 minutos a 2 horas, de acordo com a complexidade interna das estruturas; que varia de acordo com o tamanho dos objetos a quantidade de ruídos não se mostrou relevante, com atenção necessária apenas na denteição das estruturas.

Figura 24: Malhas dos crânios editadas. (Fonte: Acervo pessoal, 2023)



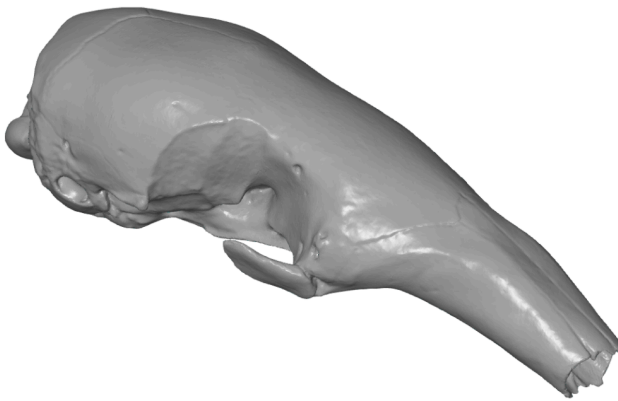
Crânio Onça Parda



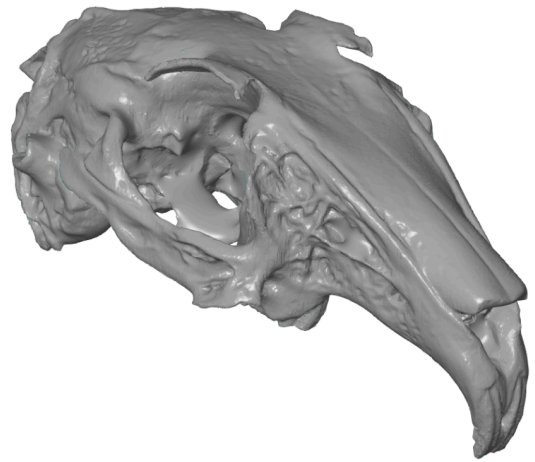
Crânio Lobo-Guará



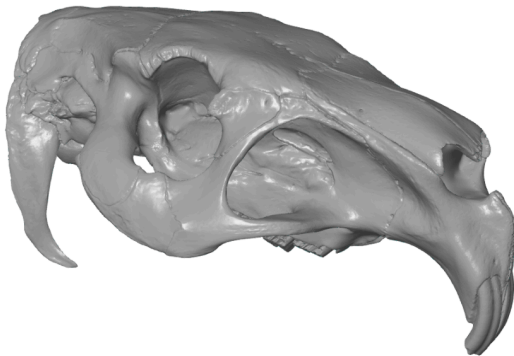
Crânio Veado-Catingueiro



Crânio Tamanduá-Mirim



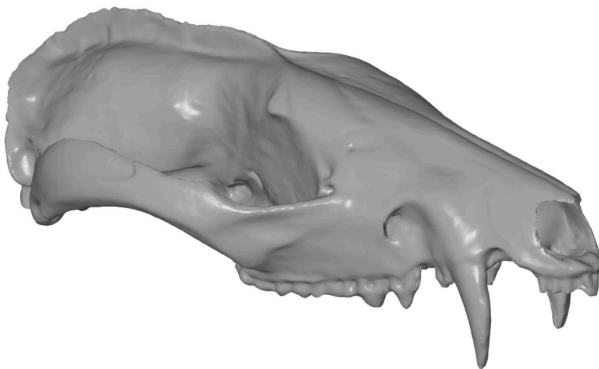
Crânio Coelho



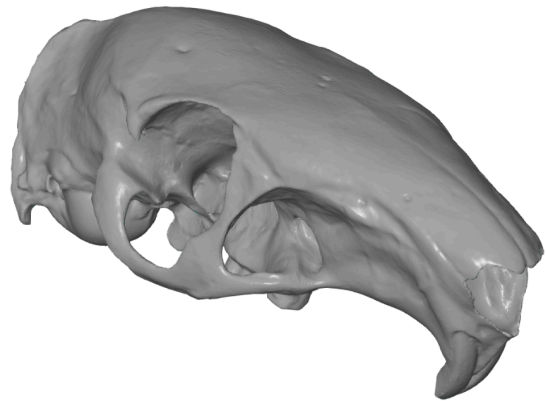
Crânio Capivara



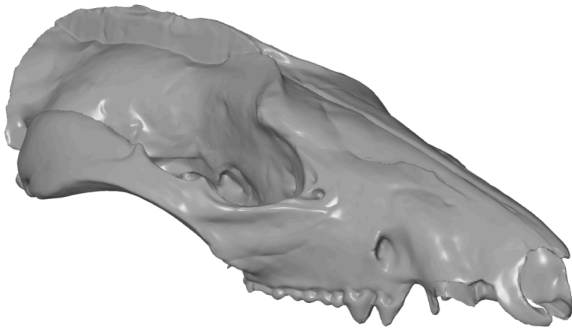
Crânio Cateto



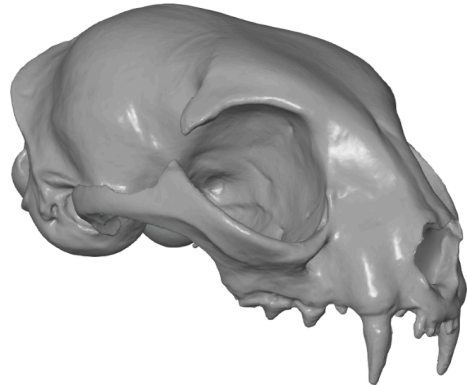
Crânio Cuica



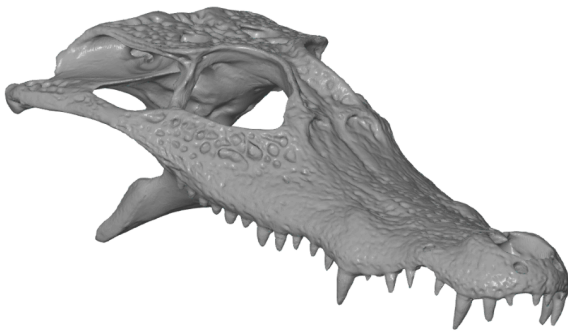
Crânio Cutia



Crânio Gambá



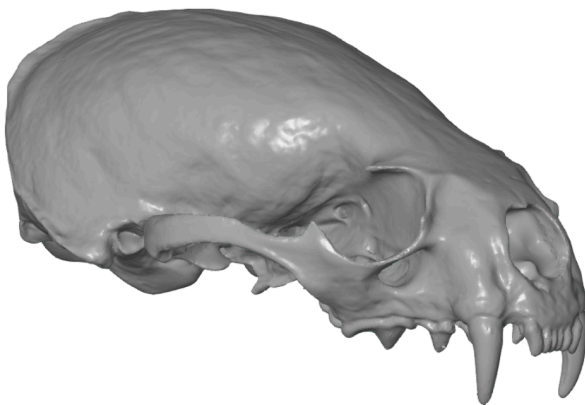
Crânio Gato do Mato



Crânio Jacaré



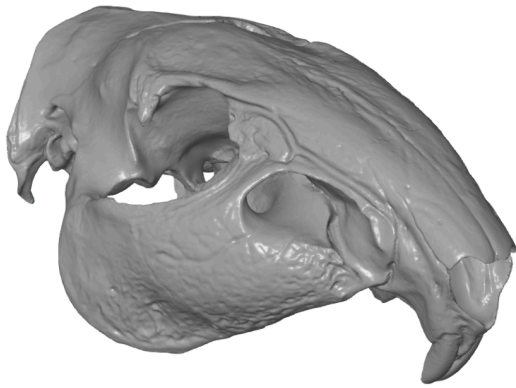
Crânio Jaguarica



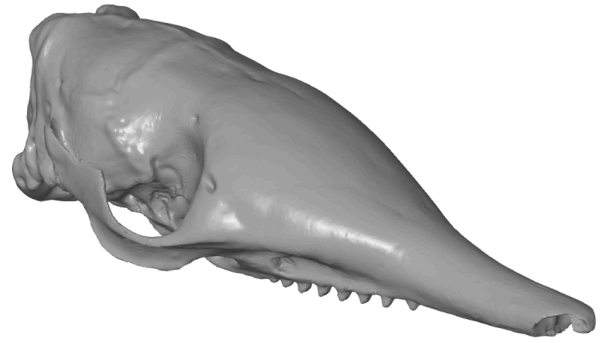
Crânio Lontra



Crânio Macaco-Prego

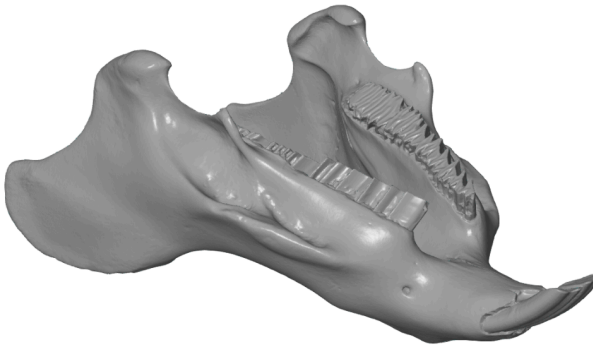


Crânio Paca

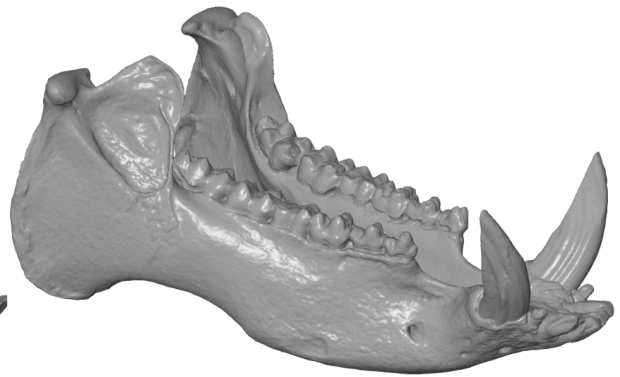


Crânio Tatu

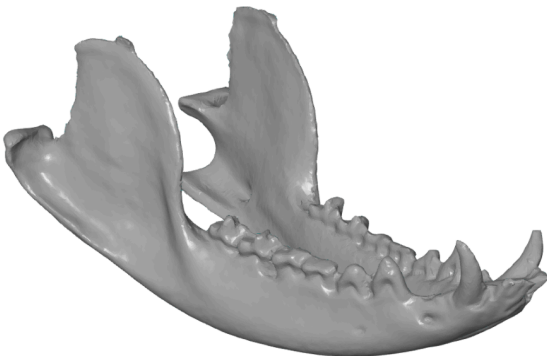
Figura 25: Malhas das mandíbulas editadas. (Fonte: Acervo pessoal, 2023)



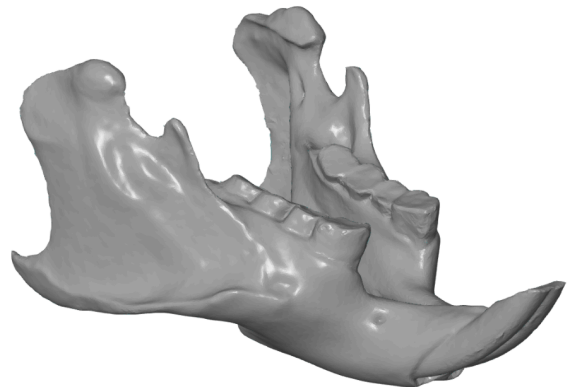
Mandíbula Capivara



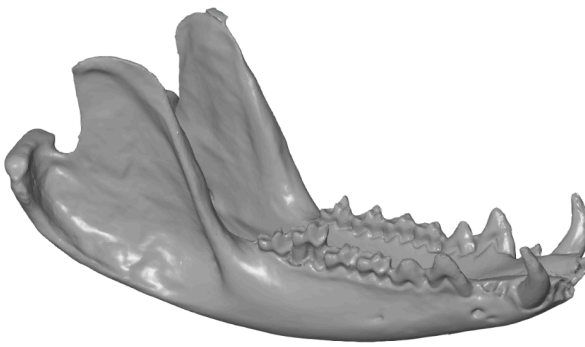
Mandíbula Cateto



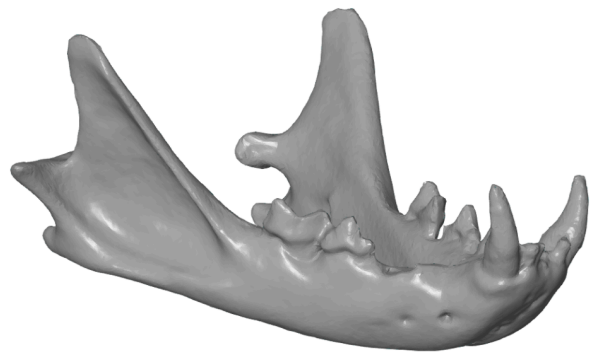
Mandíbula Cuíca



Mandíbula Cutia



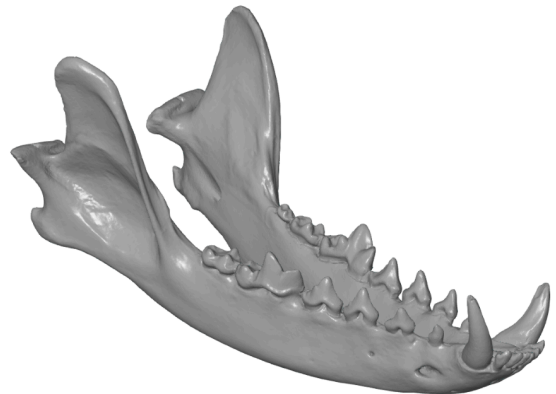
Mandíbula Gambá



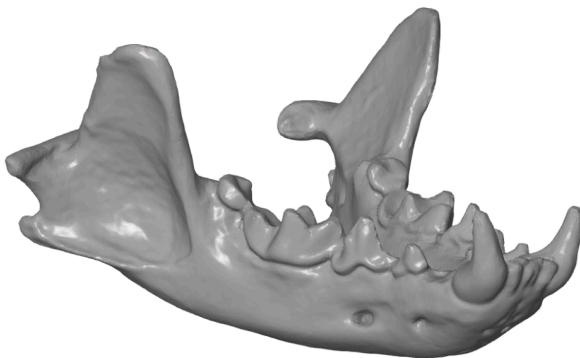
Mandíbula Gato do Mato



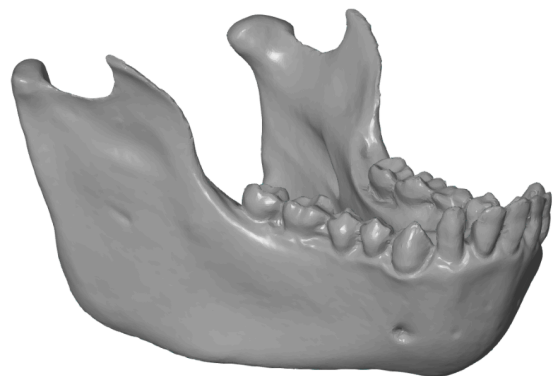
Mandíbula Jacaré



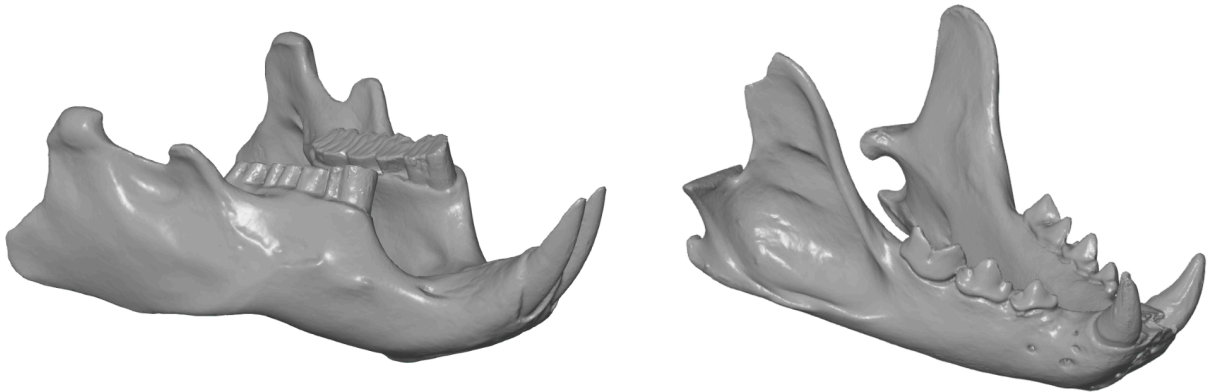
Mandíbula Lobo-Guará



Mandíbula Lontra



Mandíbula Macaco-Prego



Mandíbula Paca

Mandíbula Onça Parda

Figura 26: Malhas dos chifres editados. (Fonte: Acervo pessoal, 2023)

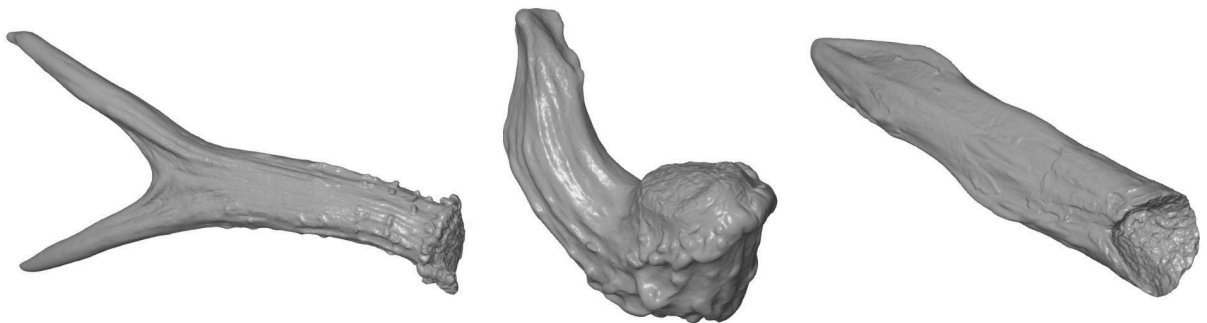


Figura 27: Malha do casco editada. (Fonte: Acervo pessoal, 2023)

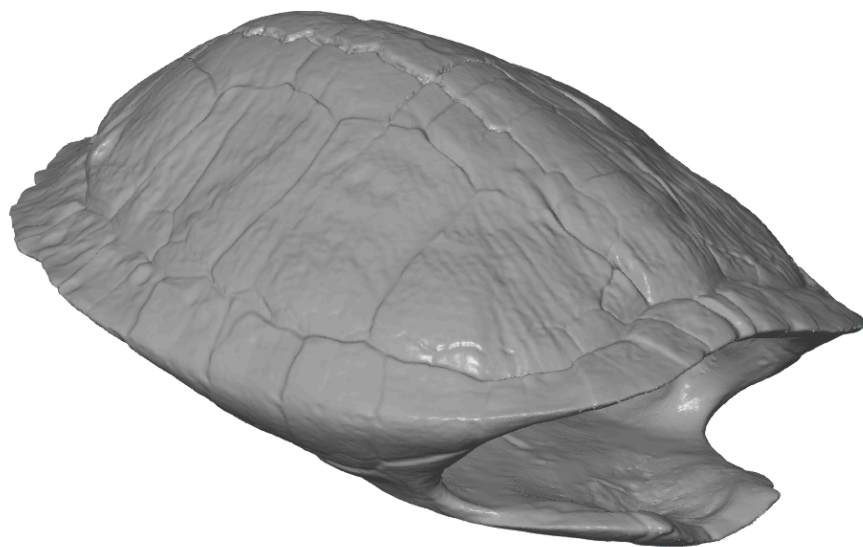
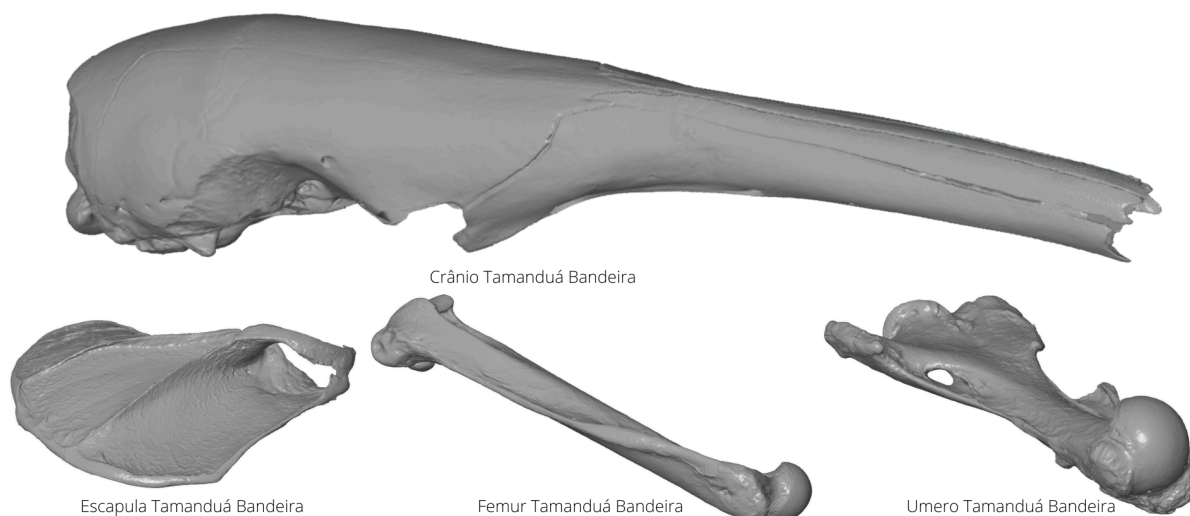


Figura 28: Malhas das estruturas de Tamanduá Bandeira editadas. (Fonte: Acervo pessoal, 2023)

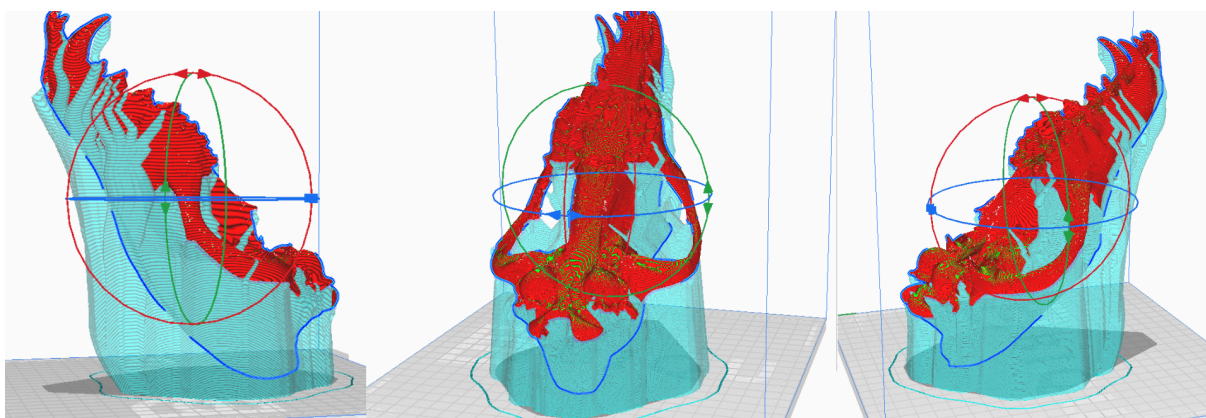


Pode-se observar que o tamanho, formato e coloração dos objetos contribuíram para melhor obtenção dos dados, o que facilitou a edição das estruturas. Devido ao formato orgânico e com informações relevantes em todas as direções das estruturas, não foi possível realizar alinhamento ou planificação para posicionamento durante o fatiamento.

4.3.3. Impressão 3D - Estudo 2

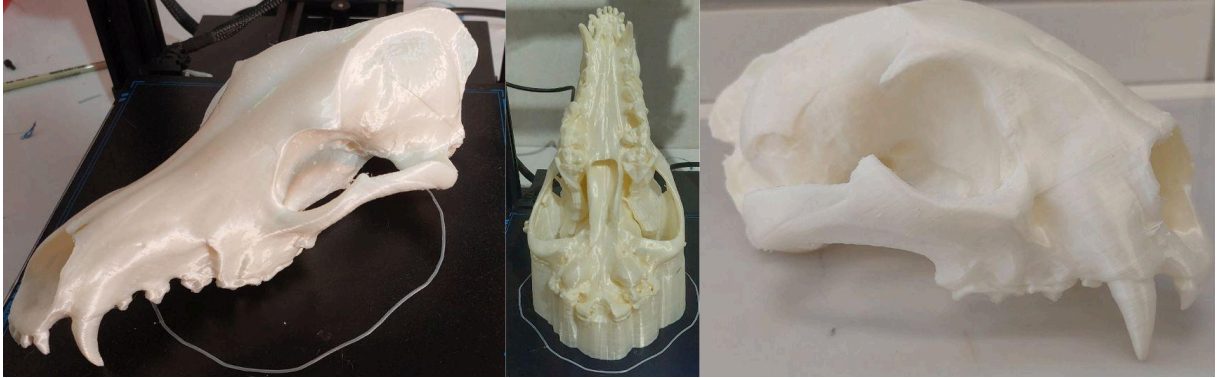
Como não foi possível realizar cortes planejados para posicionamento durante o fatiamento, o posicionamento foi realizado de forma individual de acordo com as informações presentes em cada estrutura. De forma geral, as estruturas foram posicionadas de forma a manter as estruturas internas relevantes (p.e. dentição) voltadas para cima, o suporte da estrutura feito por suportes em árvore (figura 29).

Figura 29: Exemplo de posicionamento com o Crânio de Lobo Guará. (Fonte: Acervo pessoal, 2023)



A validação da impressão foi realizada na impressora BIQU B1 em PLA Easy Fill, as peças foram produzidas dos conjuntos Crânio/Mandíbula da Onça Parda e Lobo Guará, assim como alguns Chifres de Veado. (figura 30).

Figura 30: Impressão 3D dos Crânios em PLA. (Fonte: Acervo pessoal, 2023)



Após a validação em impressoras de mesa aberta, a fim de otimizar tempo de máquina, foi utilizada a impressora Creality K1 para impressão dos modelos restantes (figura 31). Foi realizada comparação entre os conjuntos desenvolvidos em impressoras diferentes, com resultados muito semelhantes.

Figura 31: Impressão 3D em PLA. (Fonte: Acervo pessoal, 2023)











Para impressão total dos modelos foram necessárias 121 horas e 19 minutos, e utilizados 1.917,00 gramas de filamento. Esses valores referem-se às peças impressas na BIQU B1 e Creality K1, não considerando os descartes dos suportes. A impressora K1 foi utilizada com objetivo de otimizar o fluxo de trabalho, apesar de

não ser considerada impressora de entrada, a qualidade de ambas foi comparada e não houve diferença de qualidade considerável.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente projeto de pesquisa tecnológica buscou desenvolver procedimentos de digitalização de estruturas biológicas, visando obter modelos tridimensionais táteis dessas estruturas, considerando agilidade, qualidade na reprodução de detalhes, definição e resistência.

Em relação ao escaneamento, as malhas geradas foram consideradas satisfatórias para o desenvolvimento dos protótipos/modelos, com pequenos defeitos, mas passíveis de ajustes. Entretanto, para este êxito foi necessário a compreensão do posicionamento das estruturas de forma adequada sobre a mesa giratória, o que foi possível com o uso dos suportes desenvolvidos. Destaca-se ainda o conhecimento no campo da biologia e zootecnia, bem como o acompanhamento de profissionais especializados nesta área, visto que a manipulação dessas estruturas biológicas pode apresentar riscos.

A edição da malha ocorreu de forma eficiente com o auxílio do software *GOM Inspect*, permitindo que profissionais que não apresentam domínio tecnológico possam usá-las. Além disso, os resultados apontam que as malhas obtidas possuem boa qualidade visual e de textura.

No tocante a impressão 3D, para o **Estudo 1** os protótipos/modelos de crânios das serpentes apresentaram problemas de qualidade por conta de sua geometria e espessura. Estas foram limitações observadas em relação a impressão em filamento. Neste caso, recomenda-se o uso de impressão em resina fotossensível. Por outro lado, os protótipos/modelos de cabeça, escama e cauda das serpentes apresentaram bons resultados, com poucas imperfeições relacionadas a suportes. Destacam-se os protótipos/modelos das cabeças das serpentes, as quais possuem maior quantidade de detalhes (presença de escamas dorsais, labiais e abdominais; formato externo; distância e posição dos olhos e fossetas; tamanho e profundidade da boca; e posicionamento da dentição), que são percebidos de forma visual e tátil para pessoas sem deficiência visual (figura 32).

Figura 32: Detalhes percebidos em cabeça de jararaca. (Fonte: Acervo pessoal, 2023)



De modo geral, pode-se afirmar que a digitalização dos crânios e cauda de serpentes apresentou êxito. Entretanto, apenas a impressão da cauda é que resultou em um protótipo com elevada qualidade, uma vez que a impressão dos crânios ainda precisa ser aperfeiçoada. Apesar de Zuffi *et al.* (2017) ter encontrado problemas na digitalização de quadrúpedes, em decorrência do comportamento dos animais, aqui o problema esteve relacionado mais à pequena dimensão do objeto e a dificuldade de se estabelecer estruturas adequadas para o processo de impressão. Já os resultados de digitalização de cabeças e escamas de serpentes foram muito exitosos, tanto no processo de digitalização, quanto na materialização (impressão) dos protótipos, os quais apresentam-se em diferentes escalas. Estes protótipos (resultados tangíveis de um Projeto de Pesquisa em Iniciação Tecnológica) servirão para avaliações de interação, em atividades de ensino de estudantes com deficiência visual, possibilitando validar (ou não) o presente processo. Tais avaliações são fundamentais, visto que Arcand *et al.* (2019) destacam a importância de protótipos (modelos 3D) na estimulação da abstração tátil de pessoas com deficiência visual.

Em relação ao **Estudo 2**, não foram encontrados problemas consideráveis durante a prototipação das estruturas, apenas com defeitos encontrados em regiões muito finas ou frágeis da própria estrutura original. No entanto, ainda serão necessárias validações relacionadas a qualidade de informações presentes nos

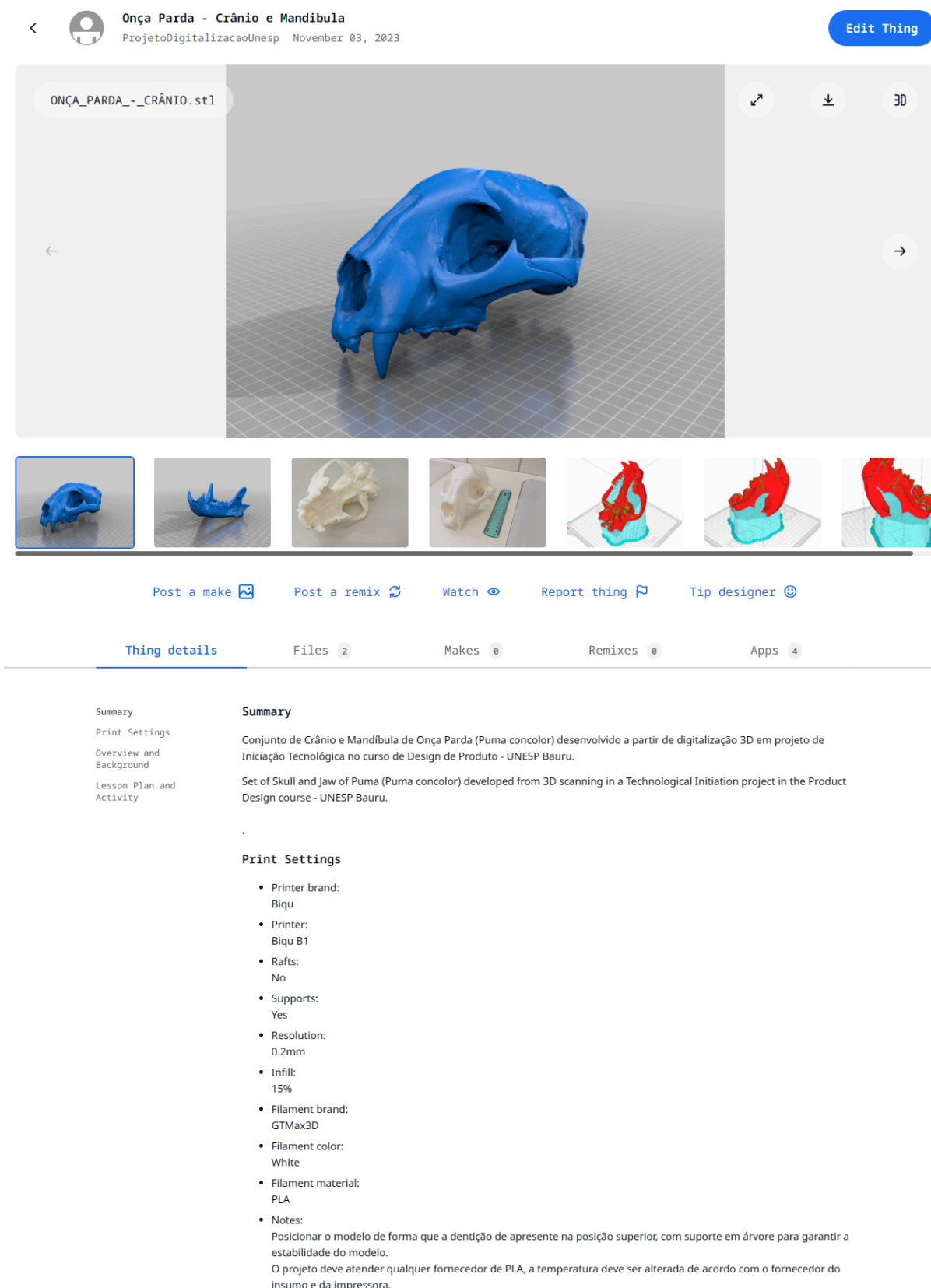
modelos, necessitando da avaliação de profissionais da área da biologia e zootecnia. Os modelos impressos foram validados pelo aluno de Doutorado Luiz Gustavo Bicas, que em contato inicial considerou a qualidade das estruturas e detalhes suficientes para compreensão geral do objeto estudado, ainda assim uma validação completa será vislumbrada durante o processo de pesquisa do mesmo. Dessa forma, também pretende-se entender se o desenvolvimento dos materiais desenvolvidos para o Ensino Superior serão de ajuda no momento de ensino em instituições que não possuem laboratórios ou coleções específicas para essa categoria de espécies e esqueletos.

Em relação à divulgação, foram escolhidas duas plataformas populares no âmbito da impressão 3D que permitem a publicação de modelos, imagens e informações de prototipação, sendo essas o “Thingiverse” e “Printables”.

No entanto, devido ao fato do atual projeto ser vinculado diretamente à trabalhos de mestrado e doutorado do Instituto de Biologia da UNESP Campus Botucatu, para garantir a integridade e ineditismo dos mesmos, foi requisitado que apenas um conjunto fosse publicado e apresentado em plataforma virtual, sendo o Crânio e Mandíbula da Onça Parda.

Dessa forma, o conjunto foi adicionado de forma a ilustrar como será realizada a publicação e divulgação dos modelos desenvolvidos (figura 33). Planeja-se descrever de forma breve informações referentes às características biológicas do conjunto, além de informações de parâmetros de impressão utilizados, com imagens do posicionamento das peças no momento do fatiamento e das peças impressas.

Figura 33:Exemplo de conjunto publicado no Thingiverse. (Fonte: Acervo pessoal, 2023)



Summary
Print Settings
Overview and
Background
Lesson Plan and
Activity

Overview and Background

Digitalização e Prototipação

O conjunto de Crânio/Mandíbula da Onça Parda foi obtido a partir da digitalização das estruturas reais do animal por scanner por luz estruturada. Os modelos são resultados de um estudo voltado para o desenvolvimento de material didático tátil usando como objeto de estudo animais da Mastofauna Brasileira.

The Skull/Jaw set of the Puma was obtained by scanning the actual animal structures using structured light scanning. The models are the outcome of a study focused on the development of tactile educational material, using animals from the Brazilian mammalian fauna as the subject of study.



Summary
Print Settings
Overview and
Background
Lesson Plan and
Activity

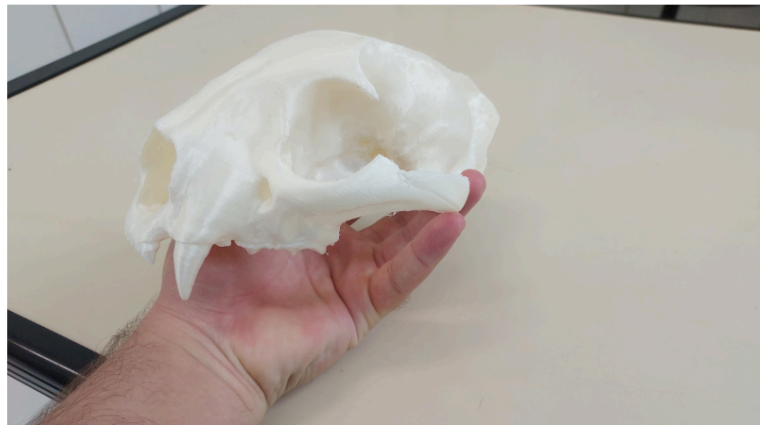


Summary
Print Settings
Overview and
Background
Lesson Plan and
Activity

Identificação de Características Anatômicas de Felinos

Os modelos podem servir para identificação de características anatômicas presentes nos felinos, assim como o aprofundamento na Onça Parda (Puma Concolor) em específico, vide que é uma espécie presente em toda a América.

The models can be used for identifying anatomical features present in felines, as well as for a more in-depth study of the specific Puma (Puma Concolor), given that it is a species found throughout the Americas.



Tags

[animal skull](#) [biology](#) [feline](#) [puma](#) [skull](#)

License

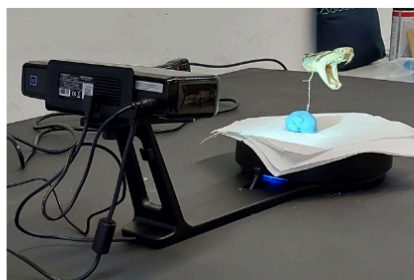
[Onça Parda - Crânio e Mandíbula](#)

by [ProjetoDigitalizacaoUnesp](#) is licensed under the [Creative Commons - Attribution - Non-Commercial](#) license.

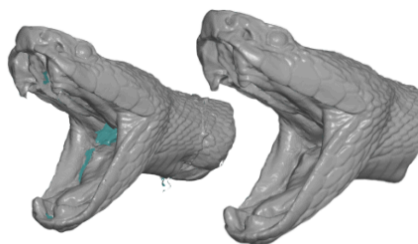
CC BY-NC

Apesar dos resultados, materializados na forma de protótipos/modelos impressos, apresentarem satisfatória qualidade técnica, entende-se que o principal contributo do presente estudo refere-se a descrição e apresentação dos procedimentos metodológicos adotados (Figura 34), o qual foi planejado para garantir que pessoas não especialistas possam executá-lo plenamente.

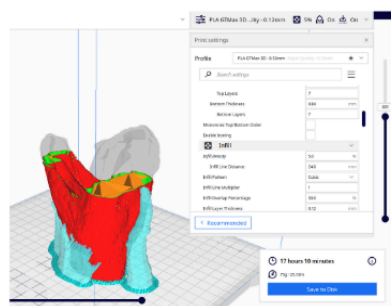
Figura 34: Método utilizado para desenvolver os materiais. (Fonte: Acervo pessoal, 2022)



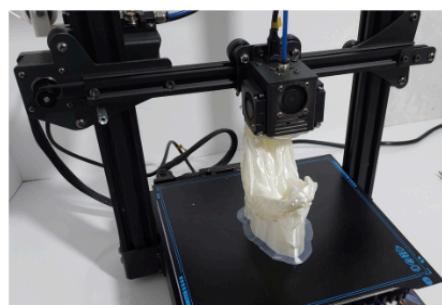
Escaneamento - Scanner EinScan-SE



Edição - GOM Inspect



Fatiamento - Ultimaker CURA



Impressão em PLA - BIQU B1

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De forma geral, conclui-se que a tecnologia atual permitiu a obtenção dos dados com qualidade do ponto de vista tecnológico, com possibilidade de alteração de escala e formato a fim de cumprir objetivos específicos; além de permitir compartilhamento dos modelos de forma virtual em base de dados gratuitas pela internet, possibilitando que qualquer educador (ou outro profissional que tenha acesso às tecnologias de impressão 3D), possa acessar e produzir os protótipos/modelos dessas estruturas biológicas. Em relação a tecnologia, pode-se verificar o uso das tecnologias de impressão em resina fotopolimerizável, que por conta do uso em áreas da medicina e odontologia vem se popularizando e recebendo versões de entrada em valores próximos às de filamento, essa tecnologia pode permitir a impressão de estruturas menores como os crânios de serpente, além de garantir um acabamento uniforme em outras regiões de interesse.

A validação de ambos os estudos ainda está em desenvolvimento. A aluna de Mestrado Lívia Cristina Ambrósio, responsável pelo estudo 1, realizará o acompanhamento dos materiais instrucionais em conjunto com audiodescrição em escolas na cidade de Botucatu, planeja-se verificar se os objetos são de ajuda no momento do ensino, assim como reunir feedbacks que venham a aprimorar os modelos. O aluno de Doutorado Luiz Gustavo Bicas planeja fazer a validação da qualidade dos modelos, separando os mesmos nas categorias e compreendendo os momentos em que os mesmos podem ser aplicados no processo de aprendizagem no ensino superior, dessa forma busca categorizar esses de forma a auxiliar profissionais da educação no momento do desenvolvimento das atividades.

A partir da validação por parte dos pesquisadores, planeja-se realizar as correções e melhorias identificadas para a divulgação dos modelos a fim de promover maior democratização do conhecimento.

7. REFERÊNCIAS

- ARCAND, K. K. et al. Touching Stars: improving NASA 3D printed data sets with blind and visually impaired audiences. **Journal of Science Communication**, United States, v. 18, n.04, p. 1-22, 2019. DOI: 10.22323/2.18040201
- ARES, M., ROYO, S., VIDAL, J., CAMPDERRÓS, L., PANYELLA, D., PÉREZ, F., GONZÁLEZ BALLESTER, M. A. 3D Scanning System for In-Vivo Imaging of Human Body. In: Osten, W. (eds) **Fringe 2013**. Springer, Berlin, Heidelberg, p.899-902. 2014. DOI: 10.1007/978-3-642-36359-7_168
- BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Palácio do Planalto, 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 20 março 2023.
- BRULÉ, E. et al. MapSense: Multi-sensory interactive maps for children living with visual impairments. **Conference on Human Factors in Computing Systems**, 2016 - Chi4good, may 2016, San José, United States. DOI: 10.1145/2858036.2858375
- D'APUZZO, N. State of the art of the methods for static 3D scanning of partial or full human body. **Proceedings of Conference 3D Modelling**. Paris. June 13-14. 2006.
- DEZEN-KEMPTER, E.; SOIBELMAN, L.; CHEN, M.; MÜLLER FILHO, A. V. 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.
- DIGITAL LIFE. **Digital Life: creating accurate 3d models of life on earth**. In: <http://digitallife3d.org> Acessado em: 26 mai. 2022.
- HALEEM, A., & JAVAID, M. 3D scanning applications in medical field: A literature-based review. **Clinical Epidemiology and Global Health**. 2018. DOI:10.1016/j.cegh.2018.05.006
- HU, P., LI, D., WU, G., KOMURA, T., ZHANG, D., ZHONG, Y. Personalized 3D mannequin reconstruction based on 3D scanning. **International Journal of Clothing Science and Technology**, 30(2), 159–174. 2018. DOI: 10.1108/ijcst-05-2017-0067.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1002/cae.20213>
- POKHARNA, P.P.; GHANTASALA, M.K.; ROSHKOVA, E.A. 3D printed polylactic acid and acrylonitrile butadiene styrene fluidic structures for biological applications: Tailoring

- bio-material interface via surface modification. **Materials Today Communications**, 27, 102348, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2021.102348>.
- PEÑA, C. G. R. A microscopic world at the touch: learning biology with novel 2.5d and 3d tactile models. **Journal of Blindness Innovation and Research**, Mexico, v.1, n. 5, p. 1-8, 2015. DOI: 10.5241/5-54
- TRELEAVEN, P., & WELLS, J. 3D Body Scanning and Healthcare Applications. **Computer**, 40(7), 28-34. 2007. DOI:10.1109/mc.2007.225.
- ZUFFI, S.; KANAZAWA, A.; JACOBS, D.W.; BLACK, M.J. 3D Menagerie: Modeling the 3D shape and pose of animals. **IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)**, p. 5524-5532, 2017. DOI: 10.1109/CVPR.2017.586