

MODELOS TRIDIMENSIONAIS DE ESCULTURA: CAMINHOS PARA A INCLUSÃO E ACESSIBILIDADE NA EDUCAÇÃO EM ARTES PARA PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL

Autores:

CARDOSO, Paulo Eduardo Capel. Faculdade de Odontologia da USP.

paulocapel@usp.br

SANTOS, Reinaldo Luiz dos. Rei Santos Design e Educação,

reinaldo.lsanos13@gmail.com

LESCANO, Andrei Samuel. Faculdade de Odontologia da USP. andrei.samuel@usp.br

OLIVEIRA, Fabiana Lopes. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design da USP. floliveira@usp.br

RUBENS, Tallis Deyvide Maia. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design da USP. tallis@usp.br

TONELLI, Renata Rosito. Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas, UNIFESP, Diadema r.tonelli@unifesp.br

Resumo

Segundo o Censo Demográfico de 2022 do IBGE, o Brasil possui 14,4 milhões de pessoas com algum tipo de deficiência, das quais 7,9 milhões apresentam deficiência visual. Essas pessoas enfrentam barreiras que limitam o acesso a experiências culturais, como a apreciação de esculturas em espaços públicos ou museus, muitas vezes inviabilizada pela impossibilidade de tocá-las, seja por preservação, seja pelas características das obras (tamanho, formato, material). Diante desse cenário, este artigo tem como objetivo possibilitar a criação de réplicas tridimensionais de monumentos em tamanho reduzido, acessíveis ao tato de pessoas com deficiência visual, ampliando sua compreensão das obras. Para isso, foram avaliadas duas metodologias de captura tridimensional — escaneamento a laser e fotogrametria — a fim de verificar qual delas oferece maior fidelidade na reprodução, de modo que as impressões 3D resultantes se aproximem das características originais do monumento. A análise considerou a acurácia dos modelos, posteriormente impressos em escala reduzida, com ênfase na fidelidade de formato e textura. Tais características são cruciais, pois as miniaturas serão utilizadas em atividades de ensino de artes em turmas com pessoas com deficiência visual. Assim, é fundamental que apresentem detalhes suficientes para proporcionar uma experiência cultural enriquecedora, inclusiva e acessível. O objeto de estudo foi o Monumento à

Liberdade, do escultor Caetano Fraccaroli (1911-1987), localizado em frente ao Hospital Universitário da USP. Para a coleta de dados, utilizaram-se o Trimble TX8 3D Laser Scanner, o drone DJI Phantom 4 e a câmera Nikon D700. A modelagem digital empregou os softwares RecapPhoto (Autodesk) e Trimble RealWorks, para fotogrametria e escaneamento a laser, respectivamente. Na etapa de impressão 3D, usou-se o Creality Print® para fatiamento do arquivo digital e a máquina K2 Plus para a produção das réplicas. A avaliação dos modelos seguiu critérios objetivos: (i) correspondência métrica com a escultura original, (ii) nível de detalhamento superficial (relevo, textura, formas sutis), (iii) usabilidade tátil das miniaturas impressas e (iv) percepção de acessibilidade e qualidade inclusiva, obtida a partir do feedback de um dos autores da pesquisa, pessoa com deficiência visual.

Palavras-chave: escaneamento a laser, fotogrametria, impressão tridimensional, acessibilidade, deficiência visual, educação inclusiva, modelo sensorial

Introdução

É fato que pessoas com deficiência enfrentam barreiras no seu cotidiano, impostas por um contexto capacitista e principalmente carente de acessibilidade. Segundo a Lei 13.146/2015, conhecida por Estatuto da Pessoa com Deficiência ou Lei Brasileira de Inclusão (LBI), barreiras são qualquer entrave, obstáculo, atitude ou comportamento que limite ou impeça a participação social da pessoa e exercício de seus direitos (BRASIL, 2015). Dentre o rol de direitos previsto na Declaração Universal dos Direitos Humanos e assegurado pela Constituição Federal do Brasil e pela LBI, está o acesso à cultura. Isso significa que aparelhos culturais, como teatros, bibliotecas, cinemas e museus precisam garantir a mesma experiência à todas as pessoas, com e sem deficiência, em qualquer tipo de atividade. Porém, de acordo com o Documento de Orientação - Deficiência e Acessibilidade em Museus (SISEM - SP, 2023), há uma percepção de que a maioria de pessoas com deficiência não consomem produtos culturais, ou que não acessam museus e teatros por falta de iniciativas inclusivas ou por desinteresse de sensibilizá-las para as perspectivas de cultura como direito.

De acordo com o Censo Demográfico de 2022, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população com deficiência no Brasil está estimada em 14,4 milhões. Neste levantamento, constatou-se que a deficiência visual é a mais frequente, totalizando 7,9 milhões de pessoas (IBGE, 2025). Considerando este público,

dentre as possíveis soluções adotadas para tornar museus mais inclusivos estão a utilização de materiais em Braille, uso de audiodescrição e criação de réplicas sensoriais de obras e objetos em 3D. Essas práticas permitem que usuários com algum tipo de impedimento de natureza visual acessem o acervo exposto utilizando outros sentidos, como audição e tato. Considerando a percepção tátil do usuário, o uso de réplicas tridimensionais é uma alternativa eficaz para a apreciação de esculturas em espaços públicos ou museus, pois muitas vezes é impossível tocar na obra original, seja por questões de preservação, seja pelas próprias características das obras - como tamanho, formato e material que inviabilizam uma experiência tátil plena.

Um exemplo de espaço público que apresenta esculturas expostas, nesse caso a céu aberto, é o *campus* da Universidade de São Paulo (USP), no Butantã. Neste espaço acadêmico, há aproximadamente 30 obras, confeccionadas em diferentes estilos, materiais e formatos. Devido às suas proporções e estado de conservação, a prática de reprodução de réplicas 3D pode ser utilizada para difundir o acervo entre o público com deficiência visual.

Diante deste cenário, este artigo tem como objetivo avaliar duas metodologias de captura tridimensional de esculturas para conversão ao formato digital: o escaneamento a laser e a fotogrametria, visando verificar o melhor resultado para que as impressões 3D sejam as mais fidedignas ao monumento, com ênfase na fidelidade do formato e da textura do objeto original. Essas características são cruciais, pois as miniaturas produzidas serão utilizadas em atividades de ensino de artes em turmas compostas por pessoas com deficiência visual. Assim é fundamental que os modelos apresentem detalhes suficientes para proporcionar ao público uma experiência cultural enriquecedora, inclusiva e acessível.

Além da exploração tátil, serão fornecidos recursos complementares que potencializarão a compreensão da obra. Entre eles, áudios que apresentam a inspiração do autor para o desenvolvimento da escultura e que contextualizam aspectos históricos, artísticos e simbólicos. Dessa forma, busca-se oferecer uma vivência multissensorial, ampliando as possibilidades de interpretação e aproximando as pessoas com deficiência visual de uma experiência cultural mais completa e significativa.

O objeto de estudo adotado foi o Monumento à Liberdade (figura 1), do professor e escultor Caetano Fraccaroli (1911-1987), escultura exposta em frente ao Hospital Universitário da USP. A obra de 1958 é uma releitura abstrata da obra *Vitória de Samotrácia*, exposta no Museu do Louvre. Fraccaroli confeccionou sua obra em resina

com fibra de vidro, e apresenta as seguintes dimensões, em metros: altura, 4,00; largura, 2,15; e profundidade, 1,65.



Figura 1: Monumento à Liberdade, de Caetano Fraccaroli. Foto: Júlio Cesar Bazanini.

Tecnologia de fotogrametria e escaneamento a laser

A fotogrametria é uma técnica datada do século XIX, aprimorada para o formato digital no final do século XX, a partir da evolução do poder de processamento dos computadores, e consiste em identificar pontos comuns entre diferentes imagens de um mesmo objeto. A partir das coordenadas obtidas são realizados cálculos que permitem definir suas dimensões, construindo uma malha interconectada da superfície do objeto. Considerando a altura da escultura, optou-se pela utilização de um veículo aéreo não tripulado para fotografá-la. A captura das imagens foi realizada durante o desenvolvimento do mestrado de Santos (2020), com a utilização de um drone DJI Phantom 4, sob controle do técnico Diógenes dos Santos Miranda.

Foram gerados dois modelos no software RecapPhoto: o primeiro apresentou a parte posterior sem refinamento; já o segundo foi gerado com um adicional de 19 fotos em comparação com o primeiro, totalizando 100 fotografias, dando ênfase na parte com mais detalhes. Como resultado, foi obtido uma réplica digital composta por 23.820 vértices (figura 2).

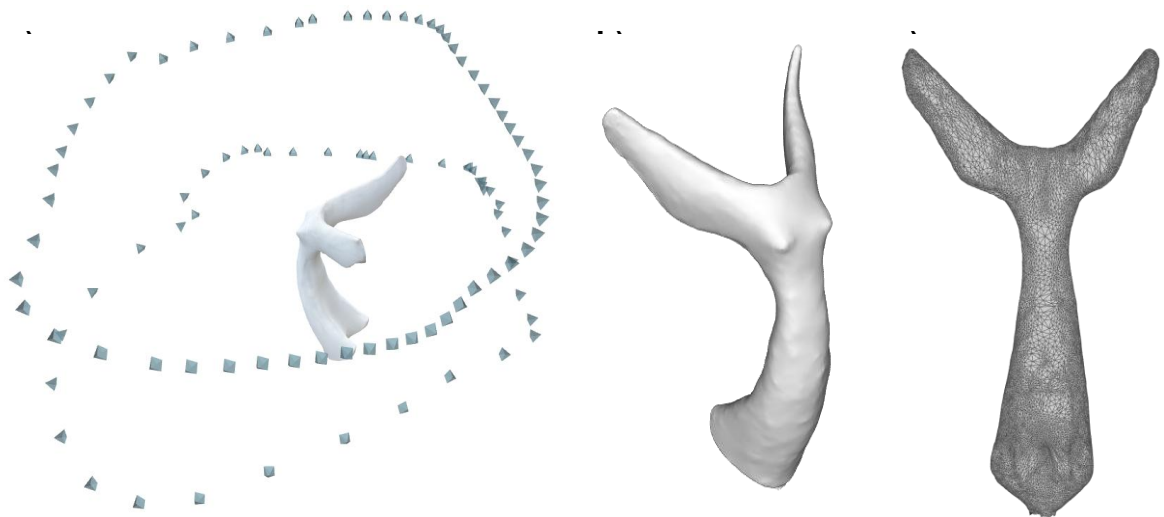


Figura 2: Processo de fotogrametria para o Monumento à Liberdade: a) posição dos pontos de captura das imagens; b) modelo fotogramétrico obtido; c) malha triangulada com os vértices identificados. Fonte: SANTOS (2020).

O escaneamento a laser é uma tecnologia que surgiu no século XX, e consiste na emissão de feixes de raio laser sobre um objeto, que ao refletirem sobre a sua superfície e retornarem ao escâner, são registrados e processados, gerando uma nuvem de pontos. Cada ponto é um conjunto de coordenadas tridimensionais (x,y,z) estipuladas pelo tempo de retorno dos raios, ou pela diferença entre fases da onda emitida e da recebida, ou por triangulação. O método vai depender do modelo do equipamento.

O escaneamento do Monumento à Liberdade ocorreu no mesmo contexto do levantamento fotogramétrico. Foi utilizado o equipamento Trimble TX8 3D Laser Scanner, operado pela equipe da fabricante. Foram necessárias 5 posições distintas (figura 3) para posicionar o equipamento. A nuvem de pontos obtida (figura 4) foi feita no software Trimble RealWorks.

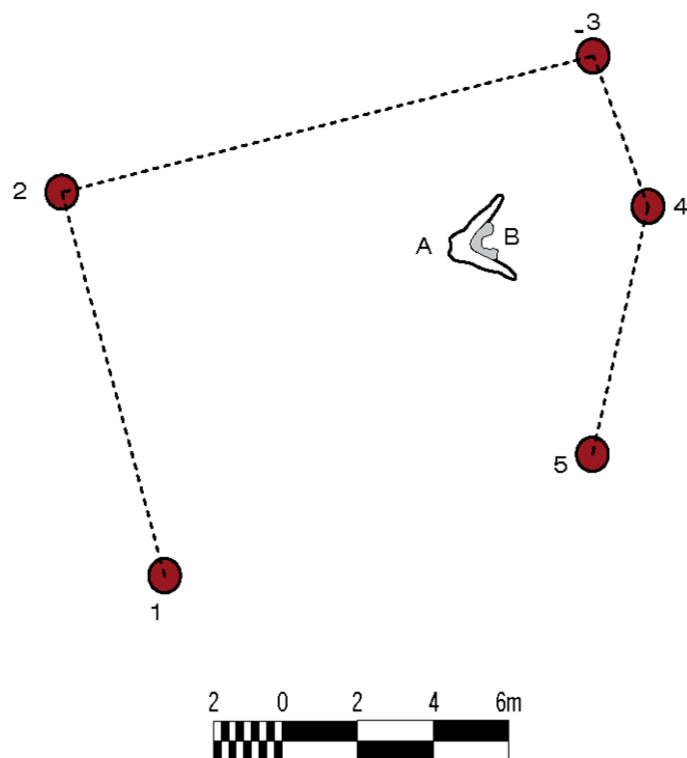


Figura 3: Posicionamento das estações para escaneamento a laser do Monumento à Liberdade. Adaptado de Santos (2020).

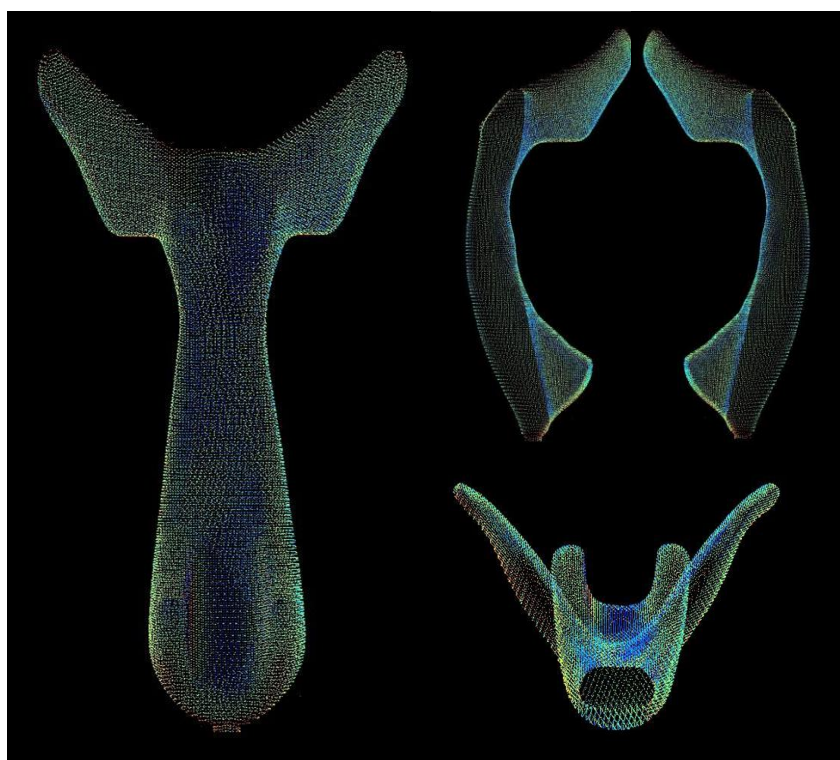


Figura 4: Ortofotos da nuvem de pontos do Monumento à Liberdade. Adaptado de Santos (2020).

Processo de impressão 3D

A etapa de impressão dos modelos gerados foi realizada por meio de impressão tridimensional com a tecnologia FDM (Modelagem por Deposição Fundida). Essa técnica foi escolhida por sua ampla disponibilidade, baixo custo relativo e capacidade de produzir peças com nível adequado de detalhamento para aplicações didáticas e táteis. O filamento plástico empregado foi o ABS (acrilonitrila butadieno estireno) por apresentar maior resistência mecânica e durabilidade. Essa escolha do material busca assegurar que as miniaturas sejam, ao mesmo tempo, robustas para o manuseio repetido e suficientemente precisas para a percepção tátil das formas originais.

O primeiro passo da pré-impressão foi o tratamento em software de fatiamento dos arquivos .obj e .stl gerados pelas técnicas de fotogrametria e escaneamento a laser. O programa escolhido foi Creality Print®. Essa aplicação cumpre os requisitos da fase de fatiamento e geração do G-Code necessário à impressão e tem grande compatibilidade de ecossistema com a impressora K2 Plus, de área de impressão 350x350x350mm, câmara aquecida e fechada e com grande velocidade de impressão.

Os arquivos .stl e .obj do monumento foram processados e fatiados em 403 camadas com uma altura de 0,2mm por camada, gerando um modelo de estatura de 95mm para comparação de detalhes reproduzíveis. Houve a necessidade de adição de suporte devido à existência de ilhas de impressão observadas na análise de camadas. Por fim, foram escolhidas as melhores áreas que garantiriam a impressão da peça como um todo sem que interfaces de suporte alterassem a superfície principal da obra.

Discussão dos resultados

As duas miniaturas tridimensionais geradas a partir das metodologias de escaneamento a laser e de fotogrametria foram submetidas à avaliação tátil por um integrante do grupo com deficiência visual. O avaliador relatou não ter identificado diferenças perceptíveis entre os dois modelos, o que sugere que ambas as técnicas de captura de imagem se mostraram igualmente eficazes para a produção de réplicas destinadas à exploração tátil. Esse resultado reforça a importância de considerar não apenas a precisão técnica dos processos de digitalização, mas também a experiência concreta de quem fará uso das réplicas.

A vivência do avaliador ao explorar as miniaturas foi descrita como altamente positiva e impactante. O contato direto com a peça permitiu que ele reconhecesse aspectos essenciais da escultura, como a imponentia da obra, sua postura ativa, a silhueta feminina bem definida e o par de asas que se projeta das costas. Esses elementos,

difficilmente acessíveis apenas por descrições verbais, tornaram-se tangíveis por meio do tato, proporcionando uma experiência interpretativa rica e significativa.

Tomando-se como base os áudios disponibilizados em MUSÉE DU LOUVRE, [s.d.] atuaram como pré-teste e recursos de complementação e estímulo, instigando o avaliador a buscar na peça os elementos previamente descritos. Embora sozinhos não fossem suficientes para transmitir a totalidade da obra, sua integração à exploração tátil transformou a atividade em uma experiência verdadeiramente sensorial e multiforme. O avaliador relatou, inclusive, a dificuldade em definir se o áudio estimulava o tato ou se o tato buscava reconhecer o que havia sido ouvido, evidenciando a sinergia entre os sentidos. Essa combinação mostrou-se uma estratégia eficaz para potencializar a compreensão estética e simbólica da escultura. Assim, a integração entre tato e audição não apenas amplia o acesso, mas transforma a experiência estética em um diálogo sensorial, capaz de aproximar pessoas com deficiência visual da plenitude simbólica e cultural das obras de arte.

Outro aspecto relevante destacado foi a possibilidade inédita de interagir fisicamente com um monumento que, em sua forma original, possui quatro metros de altura, o que inviabilizaria qualquer exploração tátil. A redução da escala e a materialização em 3D possibilitaram não apenas a aproximação física, mas também uma percepção ampliada de detalhes formais e simbólicos da obra. Dessa forma, confirma-se que a produção de modelos tridimensionais com dimensões reduzidas é uma estratégia promissora para democratizar o acesso ao patrimônio cultural, permitindo que pessoas com deficiência visual possam vivenciar e interpretar esculturas de forma autônoma e significativa.

Conclusão

O presente estudo demonstrou que tanto a fotogrametria quanto o escaneamento a laser são metodologias adequadas para a geração de modelos tridimensionais destinados à impressão 3D de réplicas táteis. Os modelos produzidos por ambas as técnicas foram avaliados como equivalentes, o que indica que qualquer uma delas pode ser utilizada com confiança para esse tipo de aplicação, embora a quantidade de peças analisada seja pequena para uma afirmação genérica.

Mais do que os aspectos técnicos, o resultado reforça o valor da utilização de réplicas como recurso inclusivo no acesso ao patrimônio cultural, permitindo que pessoas com deficiência visual tenham contato físico com esculturas que, em sua escala original, são inacessíveis ao tato. Nesse processo, os áudios fornecidos desempenham papel fundamental, pois enriquecem a experiência e estimulam a busca tátil de detalhes

previamente descritos, transformando a interação com as miniaturas em uma vivência mais ampla e sensorial.

Como continuidade, prevê-se a impressão de réplicas em maior escala, próximas ao limite da impressora disponível. Essa etapa possibilitará analisar não apenas a qualidade das reproduções, mas também o impacto da variação de tamanho na experiência sensorial, contribuindo para o aperfeiçoamento de futuras iniciativas de acessibilidade.

Referências bibliográficas

BRASIL. **Lei nº13.146**, de 06 de julho de 2015. Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência). Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm>. Acesso em: 29 ago. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo 2022: Brasil tem 14,4 milhões de pessoas com deficiência**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdh/pt-br/assuntos/noticias/2025/maio/pela-primeira-vez-ibge-divulga-dados-sobre-pessoas-com-deficiencia-no-brasil>>. Acesso em 29 ago.2025.

SANTOS, Reinaldo Luiz dos. **Esculturas no Campus Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira: Arte e Conservação**. Orientador: Profa. Dra. Fabiana Lopes de Oliveira. 2020. 460 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design, São Paulo, 2020.

SISTEMA ESTADUAL DE MUSEUS (SISEM - SP). **Documento de Orientação - Deficiência e acessibilidade em museus**. Disponível em: <<https://www.sisemsp.org.br/documento-apresenta-orientacoes-para-acessibilidade-em-museus/#:~:text=O%20SISEM%2DSP%20acaba%20de,Museus%2C%20ciclo%202022%2D2023.>>>. Acesso em 29 ago 2025.

MUSÉE DU LOUVRE. *A stairway to victory*. Disponível em: <https://www.louvre.fr/en/explore/the-palace/a-stairway-to-victory>. Acesso em: 9 set. 2025.