

Percurso metodológico para desenvolvimento de tecnologia assistiva sustentável para ampliar a percepção de deficientes visuais quanto às obras de arte

Methodological path for developing sustainable assistive technology to expand the perception of visually impaired people when viewing works of art

SILVEIRA, Carina Santos; Doutora; Universidade Federal da Bahia

csssilveira@ufba.br

ARNAUT, France F. de S.; Mestre; Instituto Federal da Bahia

francearnaut@ifba.edu.br

SILVA, Felipe Santana; Graduando; Universidade Federal da Bahia

silvafelipe@ufba.br

SILVA, Matheus Fonseca; Graduando; Universidade Federal da Bahia

matheusfonseca@ufba.br

SILVA, José Eduardo Fernandes; Graduando; Universidade Federal da Bahia

josefsilva@ufba.br

Resumo

O acesso a informações culturais no que tange aspectos perceptivos de obras de arte é reduzido ou anulado a pessoas cegas. Monumentos, esculturas, pinturas, dentre tantas outras representações artísticas e culturais deveriam estar acessíveis à percepção ampliada. Com objetivo de possibilitar autonomia ao acesso à cultura, para pessoas cegas ou com baixa visão, esse artigo apresenta o percurso metodológico para o desenvolvimento de tecnologia assistiva sustentável que possa acompanhar o acervo do Museu de Arte Sacra da Bahia, reconhecendo a importância artística e histórica do MAS. Como pesquisa aplicada, o percurso metodológico foi dividido em sete etapas, apresentadas neste artigo os resultados das etapas um à quatro. A metodologia apresentada e aplicada oferece um modelo viável e replicável para outros contextos, na promoção à acessibilidade cultural, destacando-se pela inovação e eficácia das soluções tecnológicas desenvolvidas.

Palavras Chave: Acessibilidade; Tecnologia assistiva; Acervo artístico e cultural.

Abstract

Access to cultural information regarding perceptual aspects of works of art is reduced or nullified for blind people. Monuments, sculptures, paintings, among many other artistic and cultural representations should be accessible to expanded perception. With the aim of enabling autonomous access to culture for people who are blind or have low vision, this article presents the methodological path for the development of sustainable assistive technology that can accompany the collection of the Museu de Arte Sacra da Bahia, recognizing the artistic and historical importance from MAS. As

applied research, the methodological path was divided into seven stages, the results of stages one to four are presented in this article. The methodology presented and applied offers a viable and replicable model for other contexts, in promoting cultural accessibility, standing out for the innovation and effectiveness of the technological solutions developed.

Keywords: *Accessibility; Assistive technology; Artistic and cultural collection.*

1 Introdução

“A pessoa com deficiência tem direito à cultura, ao esporte, ao turismo e ao lazer em igualdade de oportunidades como as demais pessoas.” (art. 42. Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência). De acordo com dados do IBGE de 2010, no Brasil 528.624 pessoas são incapazes de enxergar (cegos); 6.056.654 pessoas possuem baixa visão ou visão subnormal (grande e permanente dificuldade de enxergar) e outros 29 milhões de pessoas declararam ter alguma dificuldade permanente de enxergar, ainda que usando óculos ou lentes. Os dados apontam que 18,6% da população brasileira possui algum tipo de deficiência visual. Desse total, 6,5 milhões apresentam deficiência visual severa, sendo que 506 mil têm perda total da visão (0,3% da população) e 6 milhões, grande dificuldade para enxergar (3,2%).

O acesso a informações culturais no que tange aspectos perceptivos das obras e espaços culturais, é reduzido ou anulado aos deficientes visuais. Ainda de acordo com o § 2º do art. 42 da Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência, “o poder público deve adotar soluções destinadas à eliminação, à redução ou à superação de barreiras para a promoção do acesso a todo patrimônio cultural observada às normas de acessibilidade, ambientais e de proteção do patrimônio histórico e artístico nacional”, está contemplado ao perfil de público o acesso físico aos espaços mas desconsidera-se o acesso informacional. Monumentos, esculturas, pinturas, vestimentas, dentre tantas outras representações artísticas e culturais deveriam estar acessíveis quanto a percepção de texturas, formas, volumes, cheiros e aspectos auditivos. Deste modo a barreira informacional pode ser rompida, e ampliado o acesso à cultura.

De acordo com o art. 3º da Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência, a acessibilidade é definida como a

Possibilidade e condição de alcance para utilização, com segurança e autonomia, de espaços, mobiliários, equipamentos urbanos, edificações, transportes, informação e comunicação, inclusive seus sistemas e tecnologias, bem como de outros serviços e instalações abertos ao público, de uso público ou privados de uso coletivo, tanto na zona urbana como na rural, por pessoa com deficiência ou com mobilidade reduzida.

O projeto de novos produtos acessíveis permitirá a interação. “Design de produtos interativos que fornecem suporte às atividades cotidianas das pessoas, seja no lar ou no trabalho. (...) criar experiências que melhorem e estendam a maneira como as pessoas trabalham, se comunicam e interagem” (PREECE et.al, 2005, p. 28).

A pesquisa tem por objetivo de possibilitar autonomia ao acesso à cultura, no que tange aos aspectos informacionais hápticos do acervo artístico e cultural da Bahia, para pessoas com deficiência visual, bem como de promover a inclusão destas pessoas e sua participação ativa na sociedade. Neste artigo, considerando a limitação quantitativa da escrita e o contínuo andamento da pesquisa, objetiva-se apresentar o percurso metodológico que permita o desenvolvimento de tecnologia assistiva sustentável que possa acompanhar o acervo artístico e cultural baiano. Em um primeiro recorte de pesquisa pretende-se desenvolver produtos para ampliar a percepção do público quando a obras de arte do acervo do Museu de Arte Sacra da Bahia (MAS), reconhecendo a importância artística e histórica do MAS e a sua disponibilidade para desenvolvimento das atividades da pesquisa, disponibilidade de visitaçao e acesso aberto às obras expositivas.

Por tecnologia assistiva, conforme o Comitê de Ajudas Técnicas (CAT) da Secretaria de Secretaria Especial dos Direitos Humanos da Presidência da República do Brasil, criado em 2006, entende-se:

Tecnologia assistiva é uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que

engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação de pessoas com deficiência, incapacidades mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social. (Brasil, 2007 apud Bersch, 2017)

Considerando o recorte de pesquisa que aponta para obras do acervo do MAS, cabe considerar sua história. A estrutura arquitetônica que hoje abriga o museu data de 1661, até então Convento de Santa Teresa D'Ávila, criada para abrigar os monges portugueses da Ordem dos Carmelitas Descalços. Segundo o site do museu, o MAS encontra-se consolidado e reconhecido como um dos mais importantes museus no gênero nas américas, não somente pela sua rara e preciosa coleção de arte sacra cristã, mas também por ela estar abrigada em um dos mais destacados conjuntos arquitetônicos seiscentista brasileiro. Instalado no antigo Convento de Santa Teresa, o MAS da Universidade Federal da Bahia (UFBA) foi inaugurado em 10 de Agosto de 1959, pelo então Reitor Edgar Santos. Foi assinado um convênio entre a UFBA e a Arquidiocese de São Salvador pelo qual a universidade obrigava-se a restaurar o conjunto arquitetônico com a assessoria e supervisão do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN). O MAS nasce como o primeiro museu universitário da Bahia. Sua proposta desde a criação esteve voltada não apenas à valorização patrimonial, mas a disseminação do conhecimento à sociedade, através de cursos e pesquisas, servindo como instrumento de investigação científica.

2 Contextualização tecnológica para acessibilidade do patrimônio cultural

O patrimônio cultural de uma sociedade é um dos pilares que sustenta sua identidade e memória coletiva, e por anos permaneceu inacessível a todos os indivíduos. Segundo Rayar (2017), a acessibilidade ao patrimônio cultural de uma população envolve não apenas as prioridades óbvias da acessibilidade física, mas também a acessibilidade na forma de compreensão e experiência.

"Acessibilidade refere-se ao direito de acesso à informação e à tecnologia, independentemente das habilidades físicas, sensoriais ou cognitivas do usuário, visando garantir a inclusão e participação plena de todos na sociedade." (WANDERLEY, 2017)

Simon (2010) aponta que os museus podem se tornar mais participativos e acessíveis a um público mais amplo. A autora defende a ideia de que as instituições culturais devem criar experiências que engajem todas as pessoas, independentemente de suas habilidades ou origens sociais. Pérez (2015) analisa a acessibilidade e inclusão em museus e instituições culturais, destacando a importância de remover barreiras físicas e sociais para garantir que todos, incluindo pessoas com deficiência, possam acessar e aproveitar o patrimônio cultural. A criação de experiências inclusivas é essencial para democratizar o acesso ao patrimônio cultural, como aponta González e Becerra (2023).

Nos últimos anos, o avanço tecnológico tem proporcionado a democratização do acesso à cultura, abrindo novas possibilidades para que mais pessoas possam vivenciar e interagir com o legado artístico e histórico da humanidade. Entre essas inovações, destaca-se a tecnologia de prototipagem rápida, que vêm transformando a forma como experimentamos e preservamos o patrimônio cultural. As técnicas de escaneamento e impressão 3D, que permeiam a prototipagem rápida, muito aplicada na indústria manufatureira, passam a ser empregadas na indústria da cultura considerando a reprodução de réplicas táteis de obras de arte e monumentos históricos com precisão dimensional e formal. Essa tecnologia não só facilita a preservação de originais, ao reduzir a necessidade de manipulação direta, como também torna essas réplicas acessíveis a um público mais amplo, como pessoas cegas que, através do tato, podem sentir e interpretar as obras. A extensão de

benefícios proporcionados por esta tecnologia vai além do escopo deste estudo, considerando a aplicação no campo da conservação onde, através de modelos tridimensionais precisos de obras de arte é possível realizar estudo detalhado de técnicas de conservação e planejamento de restaurações, sem a necessidade de intervenções invasivas nos originais, além da possibilidade de “recriação” de obras perdidas ou danificadas.

Jones e Roberts (2024) apontam que as inovações tecnológicas estão sendo implementadas para melhorar a acessibilidade no campo do patrimônio cultural, indicando o uso de realidade aumentada, impressão 3D e outras tecnologias emergentes para criar experiências inclusivas.

Por outro lado, a prototipagem 3D possui desafios para sua implementação efetiva e disponibilização pública. O custo dos equipamentos e insumos, apesar de barateado nos últimos anos, ainda se dispõe como barreira, bem como a falta de pessoas habilitadas ao uso.

As tecnologias de impressão 3D têm revolucionado a manufatura, permitindo a criação de objetos complexos através de processos como a deposição de material camada por camada, através da estereolitografia (SLA) e a sinterização seletiva a laser (SLS). No SLA, um laser UV cura uma resina líquida camada por camada para formar um objeto sólido, enquanto no SLS, um laser funde seletivamente partículas de pó, geralmente plásticas ou metálicas, para criar volumes tridimensionais. Além dessas, a Modelagem por fusão e deposição (FDM) é amplamente utilizada, onde um filamento de termoplástico é extrudado e depositado camada por camada. Os materiais utilizados variam desde polímeros comuns como PLA e ABS até metais, cerâmicas e compostos biocompatíveis, permitindo uma vasta gama de aplicações industriais e biomédicas. Este processo de adição em série de camadas permite não apenas uma alta precisão na fabricação de geometrias complexas, mas também a possibilidade de personalização e produção sob demanda, transformando o panorama da fabricação moderna.

O processo de corte a laser é uma técnica de separação térmica amplamente empregada na indústria. Ao ser submetido ao feixe de laser localizado, o material alvo é aquecido até atingir um ponto de fusão ou vaporização completa. Esse feixe apresenta uma alta densidade de energia e é direcionado com precisão, através da saída computacional do desenho vetorial do objeto, para a superfície do material a ser cortado. Esta tecnologia permite que o processo de corte seja ágil e preciso.

Cabe enfatizar que, mesmo obtendo a reprodução das obras, através do escaneamento e impressão 3D ou vetorização e corte à laser, não se presume aqui substituir a experiência única de observar o original. Compreende-se ainda limitações para tornar esta experiência completa para o deficiente visual, limitando-se exclusivamente a questões dimensionais e formais. Segundo Rayar (2017) o patrimônio cultural é importante como veículo através do qual as pessoas podem compreender a si mesmas, o seu valor como seres humanos e a sua capacidade de explorar a si mesmos e a sua própria história. Deste modo indica-se que este estudo é inicial mas visa amplitude de aplicação tecnológica para promoção da experiência ao usuário. Sabemos que novas formas de ver as coisas darão origem a novas interpretações e que as novas tecnologias abrem oportunidades de conhecimento que anteriormente não poderíamos ter imaginado.

3 Metodologia

Este projeto, de cunho científico e técnico, por sua natureza metodológica e de resultados apresentados, classifica-se como pesquisa aplicada que, segundo Silva (2005), objetiva gerar conhecimentos – para aplicação prática – dirigidos à solução de problemas específicos, e se propõe

a elaborar um modelo, a ser aplicado na prática do desenvolvimento de produtos, no contexto do design; e, em particular olhar para o objeto de estudo proposto - obras de arte do MAS.

O percurso metodológico da pesquisa foi dividido em etapas, considerando aplicação de técnicas para obtenção dos resultados em cada uma delas:

- Etapa 1 - mapeamento e seleção das obras a serem digitalizadas, onde foi utilizada a matriz de avaliação das obras considerando requisitos históricos, formais e tecnológicos. Atuação colaborativa como o MAS;
- Etapa 2 - digitalização das obras através das técnicas de fotogrametria e tecnologia Neural Radiance Fields - Nerf, utilizando scanner 3D e aplicativos para dispositivos móveis, com e sem sensor LiDAR;
- Etapa 3 - tratamento do modelo 3D gerado para identificar e corrigir erros comuns, como buracos na malha, faces invertidas ou superfícies non-manifold. Nesta etapa foi utilizado o Blender, software livre, para essas correções;
- Etapa 4 - materialização de protótipo em tamanho reduzido, através de impressão 3D ou recorte à laser, de modo a proporcionar análise das peças e ajustes na modelagem;
- Etapa 5 - impressão 3D e recorte à laser final;
- Etapa 6 - gravação de audiodescrição guiada das obras, com objetivo de ampliar a experiência do usuário cego na apreciação das obras, nesta etapa será considerado o uso de inteligência artificial;
- Etapa 7 - validação do projeto por usuários cegos, com apoio do Instituto de Cegos da Bahia, para posterior implementação em exposição planejada no MAS.

4 Tecnologias utilizadas em prol da acessibilidade

Para a digitalização das esculturas, foram utilizadas as técnicas da fotogrametria e Nerf, fazendo uso de scanner 3D e aplicativos para smartphones com e sem sensor LiDAR. A fotogrametria é uma técnica que se baseia em fotos que são tiradas de um objeto para medir e interpretá-lo. Ela oferece uma maneira eficiente e precisa para obter informações dimensionais, formais, de textura e cor, sobre o mundo físico a partir de imagens captadas, gerando modelos digitais tridimensionais dos pontos de interesse. A relação entre geometria projetiva e fotogrametria foi desenvolvida pela primeira vez por R. Sturms e Guido Hauck na Alemanha em 1883. Neste projeto a técnica foi aplicada através de smartphones com o uso dos aplicativos Luma IA e Kiri engine. Durante estudos e primeiros testes de uso dos aplicativos gerou-se quadro comparativo de aspectos positivos e negativos (Quadro 1). Além dos aplicativos utilizados foram estudados e descartados os aplicativos live link face e metascan, considerando a usabilidade e as limitações técnicas dos mesmos, para digitalização das obras selecionadas.

Obteve-se melhores resultados fazendo uso da tecnologia NeRF, que tem revolucionado a fotogrametria, proporcionando uma nova abordagem para a criação de modelos 3D. NeRF utiliza redes neurais para sintetizar cenas tridimensionais complexas e realistas a partir de conjuntos de fotos 2D, capturando detalhes e a estrutura geométrica com alta precisão. Este método envolve o treinamento de uma rede neural para aprender a função de densidade de volume e emissão de luz em um espaço 3D, permitindo a reconstrução precisa de objetos e ambientes. A aplicação de NeRF em fotogrametria melhora significativamente a qualidade dos modelos 3D gerados, especialmente em termos de textura e iluminação, tornando-se uma ferramenta para diversas indústrias.

Quadro 1 - Análise dos aplicativos utilizados

	POSITIVO	NEGATIVO
Luma AI	<ol style="list-style-type: none"> 1. Facilidade de uso: interface intuitiva que facilita a captura e processamento de imagens para usuários de todos os níveis de habilidade; 2. Resultados de alta qualidade: gera modelos 3D detalhados usando tecnologia NeRF, com representação de texturas e iluminação; 3. Processamento na nuvem: reduz a carga de trabalho do dispositivo ao realizar a maior parte do processamento pesado na nuvem. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Requisitos de hardware: exige dispositivos com alta capacidade de processamento e armazenamento para funcionar de maneira ideal; 2. Consumo de bateria: a captura e o processamento de imagens em 3D podem drenar rapidamente a bateria dos dispositivos móveis; 3. Limitações de compatibilidade: limitações de compatibilidade com alguns dispositivos móveis mais antigos ou menos potentes; 4. Dependência de conexão à internet: necessita de uma conexão estável à internet para upload de imagens e processamento na nuvem.
Kiri engine	<ol style="list-style-type: none"> 1. Open-Source: acessível a uma ampla gama de usuários e comunidades; 2. Interface de amigável: uso intuitivo e fácil, não exigindo treinamento inicial; 3. Funcionalidades avançadas: oferece uma variedade de recursos avançados, como suporte para modelagem 3D, geração de caminhos de ferramentas e simulação de processos de fabricação; 4. Versatilidade: aplicativo para Android e IOS, o que o torna relativamente acessível. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dependência da conexão com a internet: requer conexão estável para acesso e utilização, podendo ser uma limitação em ambientes com conectividade limitada; 2. Limitação para geração da imagem 3D: quanto a versão gratuita possui limite de fotos por objeto, impedindo assim melhores resultados.

Fonte: O autor.

Luma AI é um aplicativo que possui tecnologia capaz de capturar imagens do mundo real e convertê-las em modelos 3D. Utiliza campos de radiação neural (Nerf) para criar modelos 3D rapidamente e a um custo acessível. O Kiri Engine é um aplicativo capaz de oferecer recursos de digitalização da superfície de objetos. Em sua versão gratuita, possui limitação de até 70 (setenta) fotos para composição de um modelo tridimensional final.

O scanner 3D Revopoint mini (Figura 1) também foi utilizado para digitalização das peças. O equipamento possui precisão de 0.02m, permitindo que os menores detalhes da peça sejam capturados com precisão e apresentados como tal. O modelo de saída tem uma alta densidade de nuvens de ponto com uma distância de 0,05 mm. Contudo, o scanner não mostrou-se uma tecnologia eficiente para o estudo por exigir mais destreza manual na sua manipulação. Como as obras possuem dimensão variada, mínima de 53cm, a manipulação manual do scanner deveria percorrer toda a obra em 360 graus da base, meio do objeto e topo. O uso de base giratória foi descartado considerando a fragilidade das obras e as restrições de manipulação.

Figura 1 - Scanner 3D Revopoint mini



Fonte: O autor.

Para a digitalização dos quadros, foi utilizada a fotografia digital e a vetorização através de softwares específicos. Os vetores gerados deveriam considerar a aplicação de corte e de gravação pela máquina de laser (Figura 2). Também foi considerada a possibilidade, ainda em estudo de viabilidade, da técnica *bas-relief*, ou baixo-relevo, que consiste em projetar uma imagem em duas dimensões resultando uma sensação de relevo moderado, capaz de permitir criar superfícies tridimensionais com profundidade limitada, proporcionando uma representação visual que se situa entre a bidimensionalidade e a tridimensionalidade. Para a materialização das obras digitalizadas, foram utilizadas as impressoras 3D de filamento (Figura 3).

Figura 2 - Máquina de corte à laser



Figura 3 - Impressoras 3D utilizadas



Fonte: O autor.

Cabe salientar que esta pesquisa está vinculada ao laboratório INCITE Indústria 4.0 que é uma rede de cooperação científica e tecnológica interinstitucional e interdisciplinar, do qual compartilha laboratórios tecnológicos em ICTI, dispondo da tecnologia necessária ao desenvolvimento da solução final apresentada.

5 Estudo aplicado ao acervo do MAS - o percurso metodológico

Considerando o percurso metodológico e o atual andamento do projeto, aqui serão apresentadas as etapas 1 à 4.

- Etapa 1 - mapeamento e seleção das obras a serem digitalizadas.

Foi disponibilizada pelo MAS uma lista de obras, previamente selecionada por processo curatorial expositivo pela museóloga, considerando a importância e o período representativo histórico das obras. as obras pré selecionadas foram analisadas pela equipe do projeto considerando para as esculturas: requisitos históricos pela importância e relevância da obra; requisitos formais e tecnológicos associados à disponibilidade de tamanho de impressão e partes da geometria que dependeriam de suporte para impressão. E para as obras em tela: requisitos históricos pela importância e relevância da obra; requisitos formais e tecnológicos associados à qualidade de contornos da pintura e quantidade de planos apresentados. Considerando a análise foram definidas prioridades para reprodução das obras.

Quadro 2 - Matriz de seleção das obras

OBRA	DIMENSÕES	ANÁLISE DE REQUISITOS	POSSIBILIDADE TÉCNICA DE REPRODUÇÃO	PRIORIDADE
OBRAS EM TELA				
 São Miguel	Óleo sobre tela Dimensões (com moldura): h=1,85m l= 1,12m p=0,08m	A obra possui detalhes em variados planos o que leva a considerar dificuldade de vetorização dos detalhes para criação de camadas	<ul style="list-style-type: none"> - Vetorização por “camadas” da imagem - Recorte em MDF com sobreposição das camadas - Gravação em MDF de linhas de textura - Impressão 3D de detalhes 	3
 Santa Gertrudes	Óleo sobre tela Dimensões (com moldura): h=0,87m l=0,67m p=0,05m	A obra apresentada em 3 planos que destacam o fundo e a figura. Possui geometria simplificada e contorno perceptíveis para a vetorização. Contudo, falta de profundidade na roupa.	<ul style="list-style-type: none"> - Vetorização por “camadas” da imagem - Recorte em MDF com sobreposição das camadas - Gravação em MDF de linhas de textura - Impressão 3D de detalhes 	1
 Senhor dos Martírios	Óleo sobre tela Dimensões (com moldura): h=1,75m l=0,95m p=0,08m	Obra apresenta planos perceptíveis que destacam a figura e o fundo da imagem. Possui geometria mais complexa porém contornos bem definidos para vetorização.	<ul style="list-style-type: none"> - Vetorização por “camadas” da imagem - Recorte em MDF com sobreposição das camadas - Gravação em MDF de linhas de textura - Impressão 3D de detalhes. 	2
ESCULTURAS				
 Sant'Ana de Frei agostinho	Barro cozido dourado e policromado Dimensões: h=0,77m l=0,34m p=0,34m	Obra com geometria que não apresenta espaço de planos sobrepostos. A cor torna-se ponto crítico para escaneamento. Demais pontos devem ser observados para a fotogrametria: detalhes da peça; relação tamanho real X tamanho de impressão; relação com altura e digitalização de topo.	<ul style="list-style-type: none"> - Escaneamento 3D da peça - Ajuste de modelagem 3D - Impressão em ABS ou PLA 	2

	<p>Madeira policromada e dourada</p> <p>Dimensões:</p> <p>h=0,76m</p> <p>l= 0,77m</p> <p>p=0,34m</p>	<p>A peça apresenta complexidade formal para reprodução em impressão 3D exigindo suportes (formato e posição dos braços). As cores promovem reflexão luminosa que deve ser ponto de observação na digitalização. Outro ponto crítico é a altura da peça considerando possíveis dificuldade de digitalização do topo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Escaneamento 3D da peça - Ajuste de modelagem 3D - Impressão em ABS ou PLA. 	<p>6</p>
	<p>Madeira policromada e dourada</p> <p>Dimensões:</p> <p>h= 0,76m</p> <p>l= 0,33m</p> <p>p= 0,29m (sem a cruz), 0,30m (com cruz)</p>	<p>Geometria simples, que não apresenta espaço de planos sobrepostos. Ponto de atenção para a mão que segura a cruz e a cruz, que pode ser um elemento adicional na impressão (dividir em 2 impressões)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Escaneamento 3D da peça - Ajuste de modelagem 3D - Impressão em ABS ou PLA 	<p>4</p>
	<p>Madeira policromada e dourada</p> <p>Dimensões:</p> <p>h=1,14m</p> <p>l=0,37m</p> <p>p=0,24m</p>	<p>Geometria complexa, que apresenta espaço de planos sobrepostos. Ponto de atenção para a corda que amarra as mãos e para dificuldade de digitalização do topo em função da altura da peça. Sugestão de impressão em múltiplas peças.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Escaneamento 3D da peça - Ajuste de modelagem 3D - Impressão em ABS ou PLA 	<p>3</p>
	<p>Barro cozido policromado e dourado</p> <p>Dimensões:</p> <p>h=0,53m</p> <p>l=0,24m</p> <p>p=0,14m</p>	<p>Obra com geometria complexa, mas que não apresenta espaço de planos sobrepostos. Ponto de atenção para os detalhes da peça.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Escaneamento 3D da peça - Ajuste de modelagem 3D - Impressão em ABS ou PLA 	<p>1</p>

Fonte: O autor.

- Etapa 2 - digitalização das obras e Etapa 3 - tratamento do modelo 3D gerado

Com a fotogrametria e o scanner 3D foram geradas as imagens apresentadas na Figura 4. Antes foi definido um protocolo de digitalização, para que todas as obras fossem digitalizadas sob os mesmos parâmetros. Adotou-se como protocolo: digitalização em três alturas (base, meio e topo das peças); digitalização em cor e *high poly* (modelos digitais tridimensionais com grande número de polígonos). Após a digitalização, algumas obras apresentaram áreas não capturadas, resultando em lacunas que necessitaram de correção durante o processo de tratamento das malhas tridimensionais.

O modelo tridimensional gerado com o Luma IA demonstrou alta precisão na maioria dos pontos da malha. Os arquivos resultantes, após serem processados, exibiram bons resultados em termos de volume da cena e qualidade do escaneamento. Por sua vez, a digitalização com o Kiri Engine, limitada a 70 fotos, comprometeu a qualidade e precisão, afetando as malhas dos objetos.

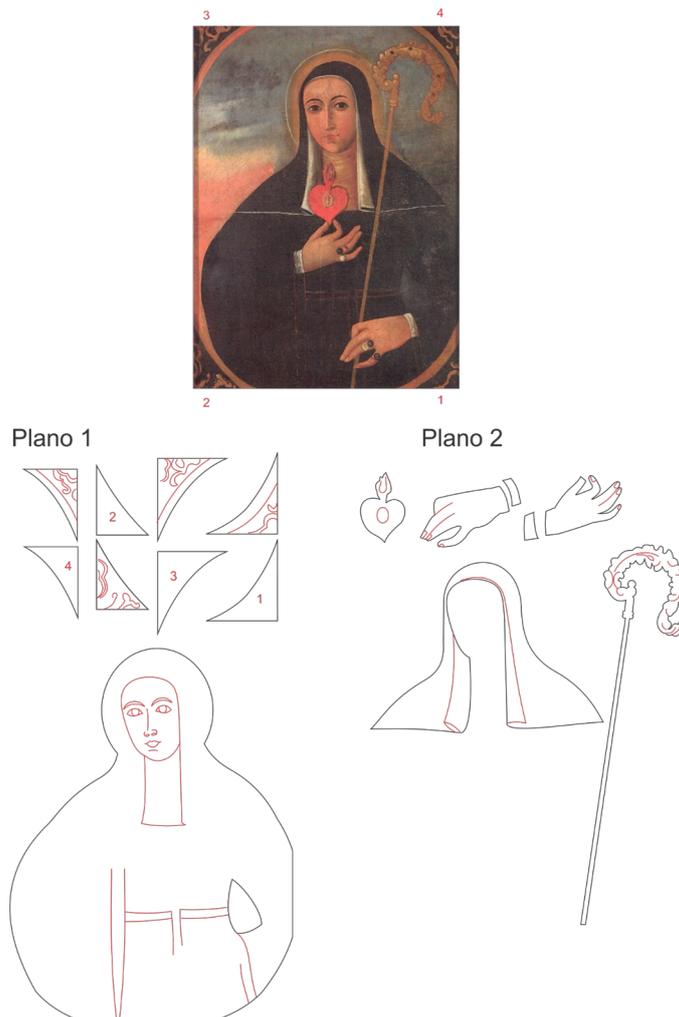
Figura 4 - Imagem geradas através da fotogrametria (Luma IA, Kiri engine) e scanner 3D



Fonte: O autor.

O quadro selecionado para o primeiro teste de aplicação foi o quadro “Santa Gertrudes”. Através de fotografias, a pintura foi vetorizada considerando os planos de observação para posterior recorte e montagem dos planos em MDF com espessura de 3mm. O vetor na cor preta trata-se do corte na chapa e o vetor na cor vermelha da gravação, de modo a proporcionar textura tátil (Figura 5).

Figura 5 - Vetorização da obra Santa Gertrudes, por planos de observação



Em análise preliminar da prototipação em tamanho reduzido, foi possível ajustar os modelos digitais e a vetorização para posterior reprodução em tamanho real. Quanto às peças impressas, compreende-se que os detalhes superficiais representaram fielmente as obras digitalizadas, mesmo com a limitação de fotos geradas na fotogrametria pela limitação de uso do aplicativo gratuito, cabendo a validação com público-alvo do projeto.

6 Conclusão

Compreende-se que esta pesquisa contribuiu significativamente para a descrição metodológica das etapas necessárias à implementação de soluções tecnológicas inovadoras voltadas para a reprodução de obras de arte, visando tornar a visita em museus acessível para pessoas cegas. Até o momento, a pesquisa se encontra na quinta etapa do percurso metodológico, e as quatro etapas anteriores alcançaram com sucesso o objetivo principal de promover o acesso à cultura para pessoas com deficiência visual na Bahia, incentivando a inclusão e a participação ativa dessas pessoas na sociedade.

O objetivo deste artigo foi plenamente atingido ao apresentar detalhadamente o percurso metodológico e sua aplicação prática, fomentando a partilha e a utilização do conhecimento gerado até então. A metodologia desenvolvida e aplicada nesta pesquisa oferece um modelo viável e replicável para outros contextos e instituições que buscam promover a acessibilidade cultural, destacando-se pela inovação e eficácia das soluções tecnológicas empregadas.

Perspectivas futuras para este estudo incluem o contínuo aperfeiçoamento na geração de superfícies que sejam cada vez mais fiéis às obras originais após a reprodução. Nesse sentido, já se prevê a continuidade dos trabalhos com o uso da técnica *bas-relief* para a tridimensionalização das telas e posterior impressão 3D, ou ainda a aplicação de texturas táteis nas telas tridimensionalizadas por meio de recorte em MDF. Essas abordagens visam aprimorar ainda mais a experiência tátil de pessoas com deficiência visual, promovendo uma inclusão cultural mais abrangente e significativa.

7 Referências

- ACM, Sigch. **Curricula for human-computer interaction**. Technical report, ACM, NY, 1992. Disponível em: < <http://www.sigchi.org/cdg/>>. Acesso em: 10 mai 2010.
- BARBOSA, S. D. J. SILVA, B. S. **Interação Humano-Computador**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- BENYON, D. **Interação Humano-Computador**. 2ª edição. São Paulo: Pearson. 2005. 442 p.
- BERSCH, Rita. **Introdução à Tecnologia Assistiva**. In: Assistiva, Porto Alegre, 2017. (www.assistiva.com.br).
- BRASIL. **Lei nº 13.146 - Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência**. In: Planalto da Presidência da República, 2024. (https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm).
- CYBIS, Walter; BETIOL, Adriana Holtz; FAUST, Richard. **Ergonomia e usabilidade: conhecimentos,**

métodos e aplicações. São Paulo: Novatec editora, 2017.

GIBSON, I.; ROSEN, D.; STUCKER, B. **Additive Manufacturing Technologies:** 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. Berlim: Springer, 2015

GONZÁLEZ, L.; BECERRA, J. (2023). **Enhancing Cultural Accessibility:** A Framework for Inclusive Museum Experiences. *Museum International*, 75(3-4), 67-89.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010.** In: Censo 2010, 2024. (<https://censo2010.ibge.gov.br/>).

JONES, Emily; ROBERTS, Michael. **Technological Innovations for Accessible Cultural Heritage.** *International Journal of Heritage Studies*, 2024, 30(1), 50-72.

MUSEU DE ARTE SACRA - UFBA. **História da instituição.** In: MAS UFBA, 2023. (<https://mas.ufba.br/historia-da-instituicao>).

PÉREZ, Carmen Julia. **Accessibility and Inclusion in Museums and Cultural Institutions.** *Museum Management and Curatorship*, 2015, 30(2), 133-148.

PREECE, J.; ROGERS, Y.; SHARP, H. **Design de Interação:** Além da Interação Homem-Computador. Porto Alegre: Artmed, 2005.

RAYAR, Frédéric. **Accessible Comics for Visually Impaired People:** Challenges and Opportunities. 2017, 9-14. doi: 10.1109/ICDAR.2017.285.

SIMON, Nina. **The Participatory Museum.** Santa Cruz: Museum 2.0, 2010.

TEIXEIRA, Fabricio. **Introdução e Boas Práticas em UX Design.** São Paulo: Casa do Código, 2014.

São Paulo: Difusão Editora, 2017.

