

GEÍSA GAIGER DE OLIVEIRA
GUSTAVO JAVIER ZANI NÚÑEZ
ORGANIZADORES

Des
ign
em
pes.
qui
sa. vol 4

GEÍSA GAIGER DE OLIVEIRA
GUSTAVO JAVIER ZANI NÚÑEZ
ORGANIZADORES

Des
ign
em
pes.
qui
sa. vol 4

Este livro é uma das publicações do Instituto de Inovação, Competitividade e Design (IICD) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (www.ufrgs.br/iicd).

© dos autores – 2021

Projeto gráfico: Melissa Pozatti

D457 Design em pesquisa: volume 4 [recurso eletrônico] / organizadores Geísa Gaiger de Oliveira [e] Gustavo Javier Zani Núñez. – Porto Alegre: Marcavisual, 2021.
720 p. ; digital

ISBN 978-65-89263-33-3

Este livro é uma publicação do Instituto de Inovação, Competitividade e Design (IICD) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (www.ufrgs.br/iicd)

1. Design. 2. Gestão do Design. 3. Gestão de Projetos. 4. Educação. 5. Sustentabilidade. 6. Desenvolvimento humano. 7. Saúde. 8. Bem-estar. 9. Tecnologia .10. Emoção. I. Oliveira, Geísa Gaiger de.. II. Núñez, Gustavo Javier Zani.

CDU 658.512.2

CIP-Brasil. Dados Internacionais de Catalogação na Publicação.
(Jaqueline Trombin – Bibliotecária responsável CRB10/979)



Marcavisaual Editora - Conselho Editorial

www.marcavisaual.com.br

Airton Cattani – Presidente

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Adriane Borda Almeida da Silva

UFPEL – Universidade Federal de Pelotas

Celso Carnos Scaletsky

UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Denise Barcellos Pinheiro Machado

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Marco Antônio Rotta Teixeira

UEM – Universidade Estadual de Maringá

Maria de Lourdes Zuquim

USP – Universidade de São Paulo

Capítulo 22

Contribuições das tecnologias 3D à preservação do patrimônio cultural em Porto Alegre

Fabio Pinto da Silva, Mariana Pohlmann, Catherine Teixeira Marcon, Gabriel Barbieri e Aline Reis Kauffmann

RESUMO

As Tecnologias 3D são definidas como um conjunto de técnicas, processos, métodos e recursos para virtualizar objetos físicos e/ou materializar modelos virtuais, bem como para manipular esses modelos 3D. Uma das áreas que vem se mostrando inovadora ao utilizar essas tecnologias é a do patrimônio cultural. Suas possibilidades se destacam no que diz respeito ao registro e análise da forma de objetos museológicos, monumentos, achados arqueológicos, prédios históricos e obras de arte. O presente capítulo apresenta uma análise de trabalhos que vêm sendo desenvolvidos na cidade de Porto Alegre/RS. Além disso, com base em revisão de literatura, tais trabalhos foram relacionados a projetos realizados em outros países, discutindo suas potencialidades e limitações. Observa-se que os projetos realizados em Porto Alegre podem ser equiparados a muitos projetos realizados no exterior, seja em relação ao tamanho do objeto, ou ao tipo de tecnologia que vem sendo utilizada. Ainda, é importante ressaltar que as Tecnologias 3D são dependentes de cada equipamento, portanto, é necessário dominar os parâmetros de cada processo utilizado para gerar malhas 3D de qualidade e garantir uma saída adequada, tanto para a manipulação virtual, quanto para a fabricação digital.

Palavras-chave: digitalização 3D, fabricação digital, impressão 3D, usinagem CNC, modelo 3D.

1 INTRODUÇÃO

As Tecnologias 3D são aqui definidas como um conjunto de técnicas, processos, métodos e recursos para virtualizar objetos físicos e/ou materializar modelos virtuais, bem como para manipular esses modelos 3D. Em termos de virtualização, incluem-se técnicas de aquisição de dados em três dimensões, como a di-

gitalização tridimensional, e de manipulação de dados, como a realidade virtual. Para a materialização, utilizam-se processos de fabricação digital, como a impressão 3D e a usinagem CNC. Ainda, integrando elementos virtuais com o mundo real, tem-se a aplicação da realidade aumentada.

As Tecnologias 3D vêm contribuindo para diferentes áreas, como a ergonomia, a tecnologia assistiva, a joalheria, bem como em produtos personalizados e na análise de projeto de produto (SILVA *et al.*, 2010). Nesse contexto, uma das áreas que vem se mostrando inovadora ao utilizar essas tecnologias é a do patrimônio cultural. Suas possibilidades se destacam no que diz respeito ao registro e análise da forma de objetos museológicos, monumentos, achados arqueológicos, prédios históricos e obras de arte.

Visto que um objeto físico existente pode ser virtualizado, manipulado e até mesmo reproduzido, criam-se alternativas que potencializam os espaços museológicos e culturais, por exemplo, tornando-os mais interativos e imersivos. Além disso, é possível obter um alto nível de fidelidade ao modelo original, permitindo gerar cópias ou moldes com elevada confiabilidade, por exemplo, para estudos e restaurações. Nesse sentido, é possível afirmar que a aplicação das Tecnologias 3D como auxílio à preservação do patrimônio cultural tornou-se uma alternativa para a continuidade dos métodos tradicionais de registros já utilizados há séculos (SCOPIGNO *et al.*, 2017; BALLETTI & BALLARIN, 2019; PRATALI MAFFEI *et al.*, 2019).

Considerando as diversas aplicações das Tecnologias 3D na área do patrimônio cultural, o presente artigo apresenta uma análise de trabalhos que vêm sendo desenvolvidos na cidade de Porto Alegre (RS). Além disso, com base em revisão de literatura, tais trabalhos foram relacionados a projetos realizados em outros países, discutindo suas potencialidades e limitações.

2 ESTADO DA ARTE

As principais Tecnologias 3D utilizadas na preservação do patrimônio cultural são revisadas neste tópico. A seguir, são abordados a digitalização 3D, o processamento e manipulação de dados e a fabricação digital.

2.1 Digitalização 3D

A digitalização 3D é um método que consiste na captura de informações por meio de equipamentos e softwares com a capacidade de digitalizar pontos no espaço (PAVLIDIS *et al.*, 2007). O conjunto de coordenadas capturadas é chamado de nuvem de pontos, que após o processamento permitem obter com grande precisão detalhes de superfícies, texturas e até mesmo objetos inteiros (SILVA, 2006).

Para a aquisição de dados, os equipamentos fazem uso de diferentes princípios. Desses, os principais que vêm sendo utilizados em projetos na área são: laser (KUZMINSKY & GARDINER, 2012; CERRI *et al.*, 2018; BOSCO *et al.*, 2019; MERCHÁN *et al.*, 2019), luz estruturada (PATAY-HORVÁTH, 2014; MONTUSIEWICZ; MIŁOSZ & KĘSIK, 2018) e fotogrametria (EVIN *et al.*, 2016; CARRERO-PAZOS & ESPINOSA-ESPINOSA, 2018; LANCASTER, 2018; BLITZ, 2019; BOSCO *et al.*, 2019; MERCHÁN *et al.*, 2019; ROBINSON *et al.*, 2019).

A seleção da tecnologia a ser utilizada no processo de digitalização 3D varia conforme o artefato em questão e pode estar limitada ao uso de apenas um dispositivo (LEVOY *et al.*, 2000; PATAY-HORVÁTH, 2014) ou combinar mais de um equipamento (BRUNO *et al.*, 2010; EROLIN; JARRON & CSETENYI, 2017). Além disso, pode também ser auxiliada por alvos que auxiliam na localização de áreas homólogas e no desempenho do processamento. Por exemplo, Bouzakis e colaboradores (2016) posicionaram alvos em uma placa de acrílico (para evitar o contato com a amostra original) durante a digitalização 3D de blocos esculpidos no friso do Parthenon, no Museu de Acrópole em Atenas. Da mesma forma, se pode receber o auxílio de drones para navegação aérea (LANCASTER, 2018). É válido destacar que essas particularidades dependerão tanto do artefato a ser digitalizado, quanto do dispositivo que irá realizar o procedimento.

2.2 Processamento e manipulação de dados

Os dados adquiridos por digitalização 3D são processados em software visando gerar uma malha 3D o mais fiel possível ao objeto original. O registro é realizado a partir de nuvem de pontos, fotografias ou mesmo malhas 3D. No registro por nuvem de

pontos, os dados primeiramente são filtrados, ou seja, são reduzidos os ruídos e removidos os pontos desconectados da peça digitalizada. Por sua vez, no registro por fotografia (fotogrametria), uma série de imagens é alinhada em software, por meio de algoritmo que identifica pontos homólogos entre as fotos. Então, elas são convertidas em uma densa nuvem de pontos que também será filtrada. Após o alinhamento das nuvens de pontos, elas são processadas para gerar a malha 3D (GOMES; BELLON & SILVA, 2014). Por vezes, ainda são necessários ajustes na malha poligonal, sempre levando em consideração não intervir na fidelidade da superfície original.

O resultado do processamento da digitalização é uma malha 3D de alta densidade poligonal, ideal para os processos de fabricação digital, tais como impressão 3D, usinagem CNC, possibilitando a confecção de réplicas. Mas, se o objetivo for a visualização 3D, é recomendado realizar procedimentos para redução de tamanho e aplicação de foto-realismo, ou seja, retopologia e mapeamento UV, respectivamente.

A retopologia consiste em ajustar os vértices da malha 3D, gerando uma malha simplificada, ou seja, reduzir o número de polígonos dos modelos tridimensionais comprometendo minimamente a geometria (TURK, 1992; SCHROEDER *et al.*, 1992). A malha simplificada equivale a uma boa aproximação com o modelo 3D original em relação a alguma medida de distância geométrica (SURAZHSKY & GOTSMAN, 2005). O modelo mais leve consome menos processamento computacional para renderização, bem como facilita o download e a visualização online em tempo real. Cabe destacar que a retopologia possibilita um acesso mais democrático aos usuários devido à diversidade computacional existente (smartphones, tablets, notebooks e computadores domésticos).

Para simular visualmente os detalhes simplificados na malha e para representar aspectos da cor no modelo 3D, é realizado o procedimento de mapeamento UV. Este, por sua vez, consiste em abrir a malha e planificá-la em coordenadas 2D (chamadas U e V, para diferenciar de X e Y). A partir disso, geram-se mapas de texturas, que são imagens 2D que contêm informações de

cor e propriedades óticas (textura). É importante observar que algumas tecnologias a laser, por exemplo, não geram dados de cor. Além do mapa de cor difusa, outros mapas são utilizados para aumentar o realismo. Um dos mais importantes é o mapa de normais, que simula a aparência do relevo por meio de luz e sombra, sendo extraído dos dados da malha 3D de alta densidade. A textura é uma característica importante nas amostras, pois promove o foto-realismo ou a sensação de realismo com o modelo original (COMES; BELLON & SILVA, 2014; ZHANG, 1998).

No que diz respeito à visualização e à manipulação do modelo digital, quando empregadas no patrimônio cultural, elas permitem, entre outros: documentar virtualmente o artefato (PRATALI MAFFEI *et al.*, 2019); expandir as possibilidades de interação e engajamento dos visitantes com a obra (CARROZZINO & BERGAMASCO, 2010; CIRULIS; DE PAOLIS & TUTBERIDZE, 2015; KERSTEN *et al.*, 2018; HUANG; XIANG & LI, 2019); e incrementar o acervo, reconstruindo uma parte de um artefato, apenas com os fragmentos existentes (WACHOWIAK & KARAS, 2009; BALLETTI *et al.*, 2017; SEGRETO *et al.*, 2017; LANCASTER, 2018).

Essa expansão nas possibilidades de interação mencionadas, entre o visitante e o acervo, contribui de maneira significativa para a aproximação da comunidade devido ao acesso facilitado às coleções. Com as contribuições das Tecnologias da Informação e Comunicação, gradualmente, houve a viabilidade do uso da realidade virtual (RV), da realidade aumentada (RA) e de tecnologias Web para criar experiências mais imersivas junto ao patrimônio cultural (CARROZZINO & BERGAMASCO, 2010; ROSSI; SILVA & KINDLEIN JÚNIOR, 2013; BARBIERI; BRUNO & MUZZUPAPPA, 2017; KERSTEN *et al.*, 2018). As várias aplicações dessas ferramentas permitem que pesquisadores, estudantes e mesmo aqueles com interesses casuais, possam se mover em um ambiente virtual e interagir com os modelos (BALLETTI & BALLARIN, 2019).

Nesse contexto, a RV se tornou um instrumento eficaz para a gestão do patrimônio, capaz de gerar experiências que substituem o artefato físico, minimizando possíveis impactos ao patrimônio original (GUTTENTAG, 2010), além de ter grande potencial para aplicações em museus (CARROZZINO & BERGAMASCO, 2010).

A RA, com propostas de ambientes que exploram os sentidos do corpo humano (FENU & PITTARELLO, 2018), tem permitido que visitantes de museus, por exemplo, obtenham uma interação com o patrimônio intangível de maneira fácil e completa, melhorando o engajamento do público nesses espaços (CIANCIARULO, 2015; BARBIERI; BRUNO & MUZZUPAPPA, 2017; FENU & PITTARELLO, 2018; KYRIAKOU & HERMON 2019; HUANG; XIANG & LI, 2019). Já as tecnologias voltadas para a Web são importantes ferramentas para a divulgação em larga escala do patrimônio (BUSTILLO *et al.*, 2010; BETTS *et al.*, 2011), com os repositórios online (PRATALI MAFFEI *et al.*, 2019) e ambientes de ensino. Por exemplo, cita-se o museu digital Smithsonian 3D que há algum tempo vem trabalhando com acervos virtuais e permitindo o acesso online. Ainda, cabe destacar que é muito comum o uso de sistemas de visualização misto, ou seja, combinando RV, RA e/ou Web em um único sistema.

Ao optar pela fabricação digital, o processamento deve ser realizado de forma diferente, pois os dados não estão necessariamente vinculados à fruição visual simples através das ferramentas supracitadas. Nesse caso, ter um modelo 3D de alta resolução permitirá reproduzir, fisicamente, qualquer detalhe, tanto para fins de restauração, quanto para fins educativos e de entretenimento. E, com algumas simplificações (quando necessárias para comunicação com o público não especialista), traz a possibilidade de explorar o modelo com o toque, estendendo o conjunto de usuários para as pessoas com deficiência visual (BALLETTI; BALLARIN & GERRA, 2017; SCOPIGNO *et al.*, 2017; TUCCI *et al.*, 2017; MONTUSIEWICZ; MIŁOSZ & KĘSIK, 2018; REICHINGER; CARRIZOSA & TRAVNICEK, 2018; MERCHÁN *et al.*, 2019).

2.3 Fabricação digital

Com relação às técnicas de fabricação, são muitos os trabalhos que materializam seus projetos por meio de processos aditivos (FURFERI *et al.*, 2014; VOLPE *et al.*, 2014; BUONAMICI *et al.*, 2015; D'AGNANO *et al.*, 2015; ANAGNOSTAKIS *et al.*, 2016; SCOPIGNO *et al.*, 2017; CANTONI *et al.*, 2018; MONTUSIEWICZ; MIŁOSZ & KĘSIK, 2018; ROSSETTI *et al.*, 2018; WILSON *et al.*, 2018). Da mesma forma, porém com menos frequência, são encontrados trabalhos que utilizam os processos subtrativos (REICHINGER *et al.*, 2016; SCOPIGNO *et al.*,

2017), que, muitas vezes, são usados como um modelo para um futuro molde (MERCHANT *et al.*, 2019). Ambos os processos requerem softwares especiais que convertem dados digitais em uma série de comandos para a máquina, com a criação de um “código G” numérico específico.

Todavia, a escolha da técnica dependerá de diferentes fatores, como a geometria e tamanho do objeto em questão e dos materiais disponíveis ou desejados (BALLETTI & BALLARIN, 2019). Como um exemplo do processo subtrativo, a usinagem CNC tem sido usada em trabalhos que tratam de peças robustas, precisas e/ou que precisam ser resistentes (MERCHANT *et al.*, 2019). Já o processo aditivo, comparado ao subtrativo, mostra-se mais versátil, e permite a reprodução de geometrias mais complexas e otimizadas para detalhes mais finos (SCOPIGNO *et al.*, 2017; BALLETTI & BALLARIN, 2019). Como exemplo, Balletti; Ballarin & Guerra (2017) salientam as aplicações da impressão 3D no contexto dos museus, em que se destaca a redução do tempo e os custos para todos os tipos de reproduções.

Na fabricação digital, diversos são os trabalhos que estudam suas particularidades visto que os restauradores, em geral, ainda têm a delicada tarefa de alcançar o equilíbrio entre a necessidade de fabricação de réplicas e a restauração. A prioridade é restabelecer o total potencial do artefato, inutilizando qualquer interferência artística que apague os traços da passagem do tempo ou que cometa uma falsificação (TUCCI *et al.*, 2017; WILSON *et al.*, 2017; WILSON *et al.*, 2018; BALLETTI & BALLARIN, 2019).

De maneira geral, o trade-off é o processo versus o realismo do objeto. Ou seja, a que os modelos 3D físicos estão destinados. Caso seja para fins científicos, eles precisam ser uma cópia perfeita do original, principalmente no que diz respeito a sua geometria e forma. Já, no caso de o destino ser proporcionar prazer ao público, este estará sujeito a sua plausibilidade ao realismo, sendo que, a maior atenção será a respeito do material, cor, peso, textura e toque do objeto (WILSON *et al.*, 2017; WILSON *et al.*, 2018; BALLETTI & BALLARIN, 2019).

Então, apesar de o processo de fabricação digital causar uma inevitável, porém pequena, variação na exatidão, a precisão ob-

tida é mais do que suficiente para qualquer tipo de aplicação no contexto do patrimônio cultural. Ainda, ao avaliar a coerência da cópia ao original, deve-se considerar uma inevitável incerteza de medição no momento da aquisição dos dados digitais, o que faz parte do processo de aquisição (BALLETTI & BALLARIN, 2019). Também, é válido destacar que, da mesma forma que a precisão do equipamento influencia na digitalização, a ferramenta selecionada para fabricação afetando o produto final (WILSON *et al.*, 2017).

2.4 Contexto brasileiro

Em geral, grande parte dos estudos de fora do país supracitados no presente trabalho são desenvolvidos por pesquisadores italianos (CARROZZINO & BERGAMASCO, 2010; FURFERI *et al.*, 2014; VOLPE *et al.*, 2014; BUONAMICI *et al.*, 2015; D'AGNANO *et al.*, 2015; SCOPIGNO *et al.*, 2017; TUCCI *et al.*, 2017; AICARDI *et al.*, 2018; CERRI *et al.*, 2018; FENU & PITTARELLO, 2018; ROSSETTI *et al.*, 2018; BALLETTI & BALLARIN, 2019; BOSCO *et al.*, 2019; PRATALI MAFFEI *et al.*, 2019). Mas também são encontrados estudos em outras localidades, como Alemanha (KERSTEN *et al.*, 2018), Áustria (REICHINGER *et al.*, 2016; REICHINGER; CARRIZOSA & TRAVNICEK, 2018), Estados Unidos (LEVOY *et al.*, 2000; BETTS *et al.*, 2011; LANCASTER, 2018; BLITZ, 2019), Espanha (BUSTILLO *et al.*, 2015; CARRERO-PAZOS & ESPINOSA-ESPINOSA, 2018; MERCHÁN *et al.*, 2019) e Reino Unido (EVIN *et al.*, 2016; WILSON *et al.*, 2017; WILSON *et al.*, 2018).

No que diz respeito ao Brasil, um dos trabalhos de maior representatividade foi a digitalização 3D do Cristo Redentor, no Rio de Janeiro. O trabalho foi uma colaboração entre a Pix4D, a PUC-RJ e o fabricante canadense de drones Aeryon labs, para criar a primeira reconstrução 3D precisa e de alta resolução da estátua (PIX4D, 2016). Um segundo destaque é dado para a digitalização 3D realizada no estado de Minas Gerais, nas cidades de Ouro Preto e Congonhas, em que as obras do artista Antônio Francisco Lisboa (Aleijadinho), foram digitalizadas em 3D. Essas obras, consideradas patrimônio mundial da UNESCO, foram documentadas digitalmente e disponibilizadas por meio de um repositório virtual (RODRIGUES JUNIOR *et al.*, 2013). Além desses exemplos, o Monumento “O Laçador”, símbolo tanto do estado do Rio Grande do Sul, quanto da cidade de Porto Alegre, foi digitalizado em

3D pela equipe do Laboratório de Design e Seleção de Materiais (LDSM) da UFRGS (FLORES; SILVA & KINDLEIN JÚNIOR, 2012). Seguindo nesse contexto, foi realizado um levantamento dos trabalhos desenvolvidos no Rio Grande do Sul, mais especificamente na cidade de Porto Alegre, os quais têm ampla correlação com os estudos aqui citados.

3 CONTRIBUIÇÕES DAS TECNOLOGIAS 3D NA PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO CULTURAL DE PORTO ALEGRE

No presente artigo, serão abordados os principais trabalhos desenvolvidos na área de preservação patrimonial envolvendo tecnologias 3D, desde 2010, data dos primeiros estudos encontrados. Com relação à aplicação, os projetos envolvem a produção de réplicas, a gestão, análise e documentação do acervo, o uso da realidade virtual e aumentada para engajar o público em novas experiências, educação patrimonial, bem como o desenvolvimento de recursos para o acesso multissensorial aos artefatos culturais.

No final do ano de 2010, Flores; Silva & Kindlein Júnior (2012) realizaram a digitalização 3D de uma das estátuas que representam um dos afluentes do rio Guaíba. A obra é a humanização da ninfa “Cahy”, a qual integra um conjunto de ninfas que adornam o chafariz chamado “Guaíba e Afluentes”. Para tanto, foram realizadas 33 capturas distintas, que deram origem a um modelo 3D de alta resolução. Para a digitalização 3D da estátua, foi utilizado o equipamento Vivid 9i (Konica Minolta), que emprega a tecnologia a laser.

Em 2011, foi realizado um dos principais projetos na área da preservação patrimonial em Porto Alegre, a digitalização 3D do monumento símbolo da cidade: O Laçador, do escultor Antônio Caringi (FLORES; SILVA & KINDLEIN JÚNIOR, 2012). O projeto foi desenvolvido pela equipe do LDSM/UFRGS com o apoio da Coordenação da Memória Cultural, da Secretaria Municipal da Cultura de Porto Alegre. Para tanto, foi utilizado o scanner Vivid 9i e foi necessário o auxílio de um caminhão-cesto devido à altura e localização da estátua. Os dados registrados possibilitaram a documentação e análise da obra, geração de protótipos por im-

pressão 3D e a modelagem em cerâmica, contribuindo para o desenvolvimento de novos estudos (FLORES, 2012). O processamento das nuvens de pontos obtidas pela digitalização 3D foi realizado no software Geomagic Studio, da mesma forma que a maioria dos estudos subsequentes.

Diversos trabalhos foram realizados junto ao Museu de Porto Alegre Joaquim Felizardo, visando resguardar seu acervo e torná-lo mais acessível. Os primeiros objetos de estudo foram uma escaradeira em porcelana, de origem europeia que data do final do século XIX, e um urinol em faiança fina europeia (cerâmica produzida em baixa temperatura), datado entre os anos 1830 e 1860. Neste projeto, Rossi; Silva & Kindlein Júnior (2013), observando os detalhes dos objetos, bem como a finalidade do estudo, optaram pela utilização de um scanner a laser com maior resolução, e conseqüentemente, maior exatidão de medidas. No estudo, foi utilizado o equipamento Digimill 3D (Tecnodrill). O intuito foi reconstruir as peças virtualmente, o que levou à aplicação de mapeamento UV para representação da cor no modelo digital.

Ainda, utilizando peças do acervo do Museu de Porto Alegre, Cardoso e colaboradores (2014) digitalizaram cinco artefatos, dentre eles, a cabeça de uma boneca de porcelana e uma escova dental em osso que foram reproduzidas como réplicas táteis, com a finalidade de promover o acesso às pessoas com deficiência visual. Os equipamentos utilizados precisavam viabilizar a captura com exatidão para a fabricação de réplicas por usinagem CNC e por impressão 3D. Para tanto, os equipamentos utilizados foram os scanners a laser Vivid 9i e Digimill 3D, selecionados conforme as dimensões dos artefatos. Posteriormente, em estudo realizado por Silva & Caldovino (2015), as mesmas peças foram utilizadas para avaliar parâmetros de impressão 3D na intenção de alcançar o melhor acabamento superficial com um processo de baixo custo.

Observando as possibilidades de expansão das aplicações e simplificação do uso das Tecnologias 3D, Muniz (2015) desenvolveu um estudo com o objetivo de viabilizar o acesso aos arquivos digitalizados para fins educacionais. Para tanto, o autor analisou as principais plataformas e tecnologias para a exibição virtual e

propôs um repositório virtual, o qual posteriormente originou o Repositório 3D do LDSM, disponível em <https://www.ufrgs.br/ldsm/3d>. Posteriormente, Muniz e colaboradores (2016) realizaram um estudo envolvendo a geração de conteúdo em PDF 3D para fins de educação patrimonial. A peça estudada também pertencia ao acervo do Museu de Porto Alegre e tratava-se de uma medalha de bronze produzida em comemoração ao centenário da Revolução Farroupilha.

Muniz; Silva & Kindlein Júnior (2018) desenvolveram um projeto com finalidade histórico-pedagógica para digitalizar em 3D quatro elementos de fachada de prédios históricos da UFRGS. As peças digitalizadas foram: um ornamento de janela; uma janela completa; uma estátua; e um pilar do início do século xx. A tecnologia utilizada para a digitalização 3D foi a de luz estruturada, realizada pelo scanner Artec EVA (Artec 3D). Uma das vantagens do uso dessa tecnologia é a possibilidade de captura das cores do objeto. Os resultados obtidos foram modelos de alta resolução para viabilizar a produção de réplicas em escala reduzida. Além disso, os autores disponibilizaram os arquivos para visualização no repositório supracitado.

Dantas (2018) desenvolveu um dispositivo com um sistema automatizado para a digitalização 3D de artefatos do patrimônio cultural. O autor utilizou estratégias de aquisição geométrica e de reflectância, assim como ferramentas de texturização, para a renderização baseada em física (PBR, do inglês *physically based rendering*). O processo consiste no uso de luz linearmente polarizada para separação dos componentes de refletância da superfície e emprega o processo fotogramétrico para reconstrução da geometria. A proposta foi validada por meio da comparação virtual, entre a digitalização 3D de objetos realizada por diferentes equipamentos. As análises comparativas evidenciaram melhorias na qualidade e precisão da representação digital proporcionadas pela aquisição de refletância e pela PBR.

Alencastro e colaboradores (2019) aplicaram técnicas de fotogrametria para elaborar duas propostas de digitalização 3D do tipo faça-você-mesmo. A ideia era o uso de técnicas e equipamentos de baixo custo para criação de modelos 3D em ambientes mu-

seológicos, bem como tornar o museu mais acessível ao público em geral. Neste caso, os objetos de estudo foram um zoólito pré-histórico, uma medalha comemorativa ao centenário Farroupi-lha e um cachimbo antropomorfo, todos os objetos pertencentes ao acervo do Museu Júlio de Castilhos.

No trabalho de Medeiros & Silva (2019), é estudado o estado de conservação de ladrilhos hidráulicos do hall de entrada do Paço dos Açorianos, prédio histórico da Prefeitura de Porto Alegre. Os equipamentos utilizados foram o Artec EVA, para digitalização 3D de áreas menores, e, para captura do hall completo, foi utilizado o Z+F IMAGER 5010C (Zoller + Fröhlich GmbH), que é um scanner a laser terrestre de longo alcance (90 m). A análise dos dados permitiu o desenvolvimento de uma “Ficha de Identificação de Danos”, com informações do estado de conservação do revestimento e recomendações para sua preservação.

Um projeto de produção de réplicas em arenito por meio de Tecnologias 3D foi realizado em Porto Alegre, porém, tendo como objeto de estudo o sítio arqueológico Abrigo da Pedra Grande, que é um monumento petroglífico localizado em São Pedro do Sul/RS. Nele, está contida uma considerável quantidade de inscrições rupestres com importância etnográfica e histórica, sobre ocupação humana na região. Parte da rocha original em arenito já havia sido digitalizada em 3D por Pohlmann; Duarte & Silva (2012) e foi utilizada para o estudo proposto por Pereira (2019). No trabalho, foram determinados parâmetros de corte do arenito na usinagem CNC possibilitando produzir peças no material mais próximo ao original.

Bonfada; Kauffmann & Silva (2020) trabalharam com a fabricação de réplicas de peças de bronze em ambientes externos suscetíveis a furto. O objeto de estudo foi o Monumento a Bento Gonçalves, que teve suas placas de bronze furtadas durante a realização do trabalho. Como os autores já haviam digitalizado as peças, foi possível a comparação entre réplicas físicas obtidas por diferentes técnicas e o modelo virtual. Para a digitalização 3D, foi utilizado o scanner Artec EVA e, para a produção das réplicas, foram utilizadas as técnicas de impressão 3D e usinagem CNC. O processo subsequente foi a utilização da técnica selecio-

nada para fabricação de um molde em silicone e teste com diferentes resinas para permitir a reprodução da aparência da peça original. Por fim, as réplicas obtidas por diferentes resinas foram comparadas com o modelo original novamente e aquela com menor desvio dimensional foi escolhida como opção mais indicada para fabricação de uma réplica do monumento.

4 LIMITAÇÕES E SOLUÇÕES NO USO DE TECNOLOGIAS 3D PARA PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO CULTURAL: PORTO ALEGRE E CENÁRIO EXTERIOR

A variedade das formas, dimensões e materiais que caracterizam as peças patrimoniais têm impacto significativo na escolha da tecnologia mais adequada para a digitalização 3D. Essa é influenciada diretamente pelas características físicas do objeto, desde o tamanho, até a complexidade da superfície externa e as propriedades de reflexão da luz sobre a mesma. É indispensável destacar que os possíveis impedimentos no acesso ou na manipulação do objeto também delimitam os equipamentos e as técnicas utilizadas para digitalização 3D (ARBACE *et al.*, 2013; TUCCI *et al.*, 2017; CERRI *et al.*, 2018; MONTUSIEWICZ, MIŁOSZ & KĘSIK, 2018; WONG & SANTANA QUINTERO, 2019). Nesse sentido, nos próximos itens serão destacadas algumas das limitações importantes, encontradas tanto na cidade de Porto Alegre, quanto no cenário exterior, e como elas vêm sendo solucionadas nos projetos estudados.

4.1 Reflexão do objeto e iluminação

Limitações em relação à reflexão do objeto puderam ser observadas nos trabalhos em que foi necessário, por exemplo, utilizar pó revelador sobre a superfície do objeto para evitar que a refletância do material fosse um problema para a aquisição de dados em ambientes internos (ROSSI; SILVA & KINDLEIN JÚNIOR, 2013; CARDOSO *et al.*, 2014). Quanto à iluminação, pode ser necessário utilizar elementos para proporcionar áreas de sombra nos casos em que a luminosidade intensa do sol (em áreas externas) interfere na digitalização (FLORES, 2012; TUCCI *et al.*, 2017). Tucci e colaboradores (2017) relataram que a luz do sol atrapalhou a captura das texturas por fotogrametria e que a própria estrutura monta-

da para acessar a fachada do hospital gerava áreas de sombra. Já para a digitalização do monumento O Laçador, Flores; Silva & Kindlein Júnior (2012) optaram por trabalhar no período noturno. Da mesma forma, Muniz; Silva & Kindlein Júnior (2018) também digitalizaram seus objetos ao final do dia.

4.2 Dimensões do objeto e estruturas construídas

No que se refere às dimensões, durante o projeto de Pohlmann; Duarte & Silva (2012) foi necessário selecionar um quadro limitado para digitalização 3D, já que o sítio arqueológico era muito extenso. Assim, os autores optaram pela digitalização de uma região que continha mais inscrições rupestres acumuladas. Medeiros & Silva (2019) também possuíam um limitante relativo às proporções do espaço que precisava ser digitalizado e a solução foi utilizar um equipamento diferente: o scanner terrestre de longo alcance. Mesmo assim, ainda foi necessário dividir o espaço em cinco partes para a captura completa. Outro trabalho que superou o obstáculo das dimensões foi o de Tucci e colaboradores (2017), no qual foi construída uma estrutura de cerca de 10 m de altura para alcançar a obra e digitalizá-la por completo. Muniz; Silva & Kindlein Júnior (2018) utilizaram-se de andaimes para alcançar partes das fachadas dos prédios históricos.

Por outro lado, nos trabalhos de Rossi; Silva & Kindlein Júnior (2013); Cardoso e colaboradores (2014); Muniz e colaboradores (2016); Wilson e colaboradores (2017); Ballarin; Balletti & Vernier (2018); Wilson e colaboradores (2018); Balletti & Ballarin (2019), o que limitou a seleção dos equipamentos foi a dimensão reduzida das peças e a necessidade de exatidão dos dados. Em alguns casos, foi utilizado também o auxílio de estruturas que facilitam o registro de detalhes na ordem de milímetros (DANTAS, 2018).

4.3 Acesso ao objeto e restrições do ambiente

Não somente no caso citado do andaime, mas diversas estruturas precisam ser montadas para se obter o alcance à obra que, inevitavelmente, tornam-se elementos de perturbação. Em muitos casos, nem mesmo os próprios restauradores, e muito menos os visitantes, têm acesso à simples visibilidade da peça devido a

sua localização, extensão ou dimensão (TUCCI *et al.*, 2017; MUNIZ; SILVA & KINDLEIN JÚNIOR, 2018; ALENCASTRO *et al.*, 2019; BOSCO *et al.*, 2019). O projeto de Bosco e colaboradores (2019) é um dos exemplos analisados na literatura que mais teve restrições referente ao acesso. Os autores recorreram até mesmo para o uso de uma câmera térmica para tentar identificar e digitalizar em 3D alguns materiais do objeto, além do uso das técnicas de fotogrametria e laser. Mas, além de não poderem entrar em contato com o barco resgatado, o ar condicionado, utilizado para manter a integridade de alguns materiais, e a luminosidade do ambiente impediram que elementos pudessem ser identificados, tanto por questões térmicas, quanto por questões de sombra. Como eles, para a digitalização em 3D do monumento O Laçador, Flores; Silva & Kindlein Júnior (2012) também tiveram que superar o obstáculo do acesso utilizando um caminhão cesto. Lancaster (2018) também teve um obstáculo semelhante aos autores mencionados anteriormente, porém, ele optou pela utilização de um veículo aéreo não tripulado (VANT ou popularmente drone) para registrar os dados de topo de uma escola que fora incendiada no passado, sem danificar ainda mais os destroços. Já no caso da digitalização 3D das estátuas da Juno Fountain de Bartolomeo Ammannati, teve que ser selecionado um equipamento com dimensões que permitissem alcançar uma área estreita por trás das obras e outro para aquisição de detalhes finos (CERRI *et al.*, 2018).

4.4 Uso de alvos

Muitos equipamentos, especialmente os baseados em fotogrametria, necessitam do uso de alvos para o registro e alinhamento das nuvens de pontos durante o processamento. No processo de aquisição de dados descrito por Blitz (2019) e por Robinson e colaboradores (2019) os alvos precisaram ser adicionados aos ambientes que seriam digitalizados em função, tanto do equipamento utilizado, quanto das regiões serem muito semelhantes no espaço. Outra forma é criar uma estrutura por trás de objetos, independentemente de suas dimensões, na qual constem os alvos (BOUZAKIS *et al.*, 2016; ALENCASTRO *et al.*, 2019). Ainda, existe a possibilidade do uso do próprio relevo como uma espécie de “alvo” quando não se é possível adicioná-los às peças de patri-

mônio devido ao estado de conservação (TUCCI *et al.*, 2017). Nesse contexto, alguns equipamentos e softwares de processamento mais recentes não exigem a inserção de alvos artificiais, utilizando o relevo e/ou a textura (cor) do objeto para rastreamento e alinhamento (FLORES; SILVA & KINDLEIN JÚNIOR, 2012; ROSSI; SILVA & KINDLEIN JÚNIOR, 2013; CARDOSO *et al.*, 2014; SILVA & CALDOVINO, 2015; MUNIZ, SILVA & KINDLEIN JÚNIOR, 2018; BONFADA; KAUFFMANN & SILVA, 2020).

4.5 Associação de tecnologias

Algumas técnicas podem ser complementares, tornando o registro dos dados mais completo, visto que muitas vezes algumas áreas podem não ser adquiridas por limitações de determinado equipamento (TUCCI *et al.*, 2017; MUNIZ, SILVA & KINDLEIN JÚNIOR, 2018; BOSCO *et al.*, 2019). Um fator que muitas vezes demanda a associação de tecnologias é referente à resolução e à exatidão das medidas. Alguns equipamentos conseguem capturar objetos de grandes dimensões (vários metros), mas com resolução não tão alta quanto à de equipamentos para objetos de pequeno porte (alguns milímetros ou mesmo sub-milímetro). Nesses casos, pode-se digitalizar um objeto grande com um equipamento e, posteriormente, capturar algum detalhe fino da superfície com outro equipamento. Em alguns casos, quando não havia disponibilidade de um equipamento ideal para a aquisição de dados ou quando a montagem de uma estrutura de auxílio não era suficiente, a solução encontrada foi a associação de diferentes tecnologias e métodos (CARDOSO *et al.*, 2014; BALLARIN; BALLETTI & VERNIER, 2018; REICHINGER; CARRIZOSA & TRAVNICEK, 2018; ALENCASTRO *et al.*, 2019; BALLETTI & BALLARIN, 2019; BOSCO *et al.*, 2019; MEDEIROS & SILVA, 2019; MERCHÁN *et al.*, 2019).

As tecnologias de laser, raios-X e infravermelho não capturam cores nativamente, assim, quando o equipamento não possui uma câmera acoplada, a única forma de obter a textura (cor) do objeto é associando outra tecnologia, como a fotogrametria, por exemplo. Ainda, para renderização em tempo real (necessária para aplicar realidade virtual ou aumentada), é necessário realizar procedimentos de retopologia de malha e mapeamento uv. Embora alguns autores considerem a obtenção de dados pela digitaliza-

ção a laser mais precisa do que a digitalização por fotogrametria, é indispensável enfatizar que a exatidão não pode ser relacionada com a tecnologia, mas sim com o equipamento e sua respectiva resolução (BALLETTI & BALLARIN, 2019; BOSCO *et al.*, 2019).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Visto que as Tecnologias 3D são dependentes de cada equipamento, é necessário dominar os parâmetros de cada processo utilizado para gerar malhas 3D de qualidade e garantir uma saída adequada, tanto para a manipulação virtual, quanto para a fabricação digital. A escolha de determinado equipamento deve ser atrelada à finalidade de aplicação. Um modelo 3D de baixa resolução pode ser insuficiente para uma reprodução física adequada em escala real, mas pode servir para visualização em tempo real. De fato, para reprodução física, seja por impressão 3D, ou por usinagem CNC, é necessária uma malha de alta densidade, sendo a exatidão um fator determinante. Já se o objetivo for destinado à visualização on line, realidade virtual e/ou realidade aumentada, a aquisição de cor é um fator determinante e pode ser necessário um trabalho de retopologia da malha, para redução de densidade, e de mapeamento UV, para representação das texturas. Ainda, para visualização científica e análises mais aprofundadas, pode ser necessário um modelo de alta densidade e com aplicação de texturas, demandando computadores e softwares de alto desempenho. Nesse último caso, a associação de diferentes tecnologias pode auxiliar a observar tanto o objeto como um todo, quanto o de detalhes específicos em alta resolução.

Cabe ressaltar que, para o sucesso da digitalização 3D de objetos patrimoniais, é importante contornar as limitações da técnica de modo a evitar a necessidade de modelar as peças, consequentemente inserindo interferências artísticas ou mesmo modificando a aparência da obra. Contudo, é preciso fazer distinções entre as réplicas para diferentes finalidades, pois é sabido que, em casos de pessoas com deficiência visual, é possível que haja a necessidade de simplificação de alguns detalhes para o entendimento global do objeto em questão.

Observa-se que os projetos realizados em Porto Alegre podem

ser equiparados a muitos projetos realizados no exterior, seja em relação ao tamanho do objeto, ou ao tipo de tecnologia que vem sendo utilizada. Cabe salientar que a grande diferença ocorre no que tange a investimentos públicos e privados em preservação patrimonial no Brasil, o que, infelizmente, é imensamente inferior ao de países europeus, por exemplo. Ao passo que as Tecnologias 3D têm contribuído para novas aplicações no meio patrimonial, a superação dos diversos obstáculos aqui elencados tem estimulado os pesquisadores da área a aperfeiçoarem o uso de metodologias e a inovarem no modo de salvar e comunicar o patrimônio cultural.

REFERÊNCIAS

AICARDI, I. *et al.* Recent trends in cultural heritage 3D survey: The photogrammetric computer vision approach. **Journal of Cultural Heritage**, v. 32, p. 257-266, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.11.006>.

ALENCASTRO, Y. O. *et al.* Ferramentas de digitalização 3D faça-você-mesmo na preservação do patrimônio cultural. **Interações (Campo Grande)**, v. 20, n. 2, p. 435-448, 2019. DOI: <https://doi.org/10.20435/inter.v0i0.1744>.

ANAGNOSTAKIS, G. *et al.* Accessible museum collections for the visually impaired: combining tactile exploration, audio descriptions and mobile gestures. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMAN-COMPUTER INTERACTION WITH MOBILE DEVICES AND SERVICES ADJUNCT*, 18., 2016, Florence. **Proceedings [...]**. Florence: ACM, 2016. p. 1021-1025.

ARBACE, L. *et al.* Innovative uses of 3D digital technologies to assist the restoration of a fragmented terracotta statue. **Journal of Cultural Heritage**, v. 14, n. 4, p. 332-345, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2012.06.008>.

BALLARIN, M.; BALLETTI, C.; VERNIER, P. Replicas in cultural heritage: 3D printing and the museum experience. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences**, v. 42, n. 2, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-55-2018>.

BALLETTI, C.; BALLARIN, M. An application of integrated 3D technologies for replicas in cultural heritage. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 8, n. 6, p. 285, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi8060285>.

BALLETTI, C.; BALLARIN, M.; GUERRA, F. 3D printing: State of the art and future perspectives. **Journal of Cultural Heritage**, v. 26, p. 172-182, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.02.010>.

BARBIERI, L.; BRUNO, F.; MUZZUPAPPA, M. Virtual museum system evaluation through user studies. **Journal of Cultural Heritage**, v. 26, p. 101-108, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.02.005>.

BETTS, M. W. *et al.* Virtual zooarchaeology: building a web-based reference collection of northern vertebrates for archaeofaunal research and education. **Journal of Archaeological Science**, v. 38, n. 4, p. 755.e1-755.e9, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2010.06.021>.

BLITZ, A. Stepping stones: Virtual restoration and 3D visualisation of the tessellated 4th century Byzantine synagogue floor at Apamea on Orontes, Syria.

Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage, v. 15, p. e00108, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.daach.2019.e00108>.

BONFADA, C. F.; KAUFFMANN, A. R.; SILVA, F. P. Desenvolvimento e avaliação de réplicas em resinas de bens do patrimônio cultural com uso de digitalização 3D e fabricação digital. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, v.15, n.1, p. 42-53, 2020. DOI: <https://doi.org/10.11606/gtp.v15i1.152672>.

BOSCO, A. *et al.* Data fusion for drawing and analysis of an ancient roman boat in herculaneum. **The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 42, p. 77-83, 2019. DOI: [10.5194/isprs-archives-42-w17-77-2019](https://doi.org/10.5194/isprs-archives-42-w17-77-2019).

BOUZAKIS, K. D. *et al.* 3D-laser scanning of the Parthenon west frieze blocks and their digital assembly based on extracted characteristic geometrical details. **Journal of Archaeological Science: Reports**, v. 6, p. 94-108. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.01.030>.

BRUNO, F. *et al.* From 3D reconstruction to virtual reality: A complete methodology for digital archaeological exhibition. **Journal of Cultural Heritage**, v. 11, n. 1, p. 42-49, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2009.02.006>.

BUONAMICI, F. *et al.* Making blind people autonomous in the exploration of tactile models: A feasibility study. *In*: ANTONA, M.; STEPHANIDIS, C. **Universal Access in Human-Computer Interaction. Access to Interaction**. Springer, 2015. p. 82-93. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-20681-3_8.

BUSTILLO, A. *et al.* A flexible platform for the creation of 3D semi-immersive environments to teach Cultural Heritage. **Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage**, v. 2, n. 4, p. 248-259, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.daach.2015.11.002>.

BUSTILLO, A. *et al.* The church of the Charterhouse of Miraflores in Burgos: virtual reconstruction of artistic imagery. *In*: Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, 38., 2010, Granada. **Proceedings [...]**. Granada: CAA, 2010, p. 55-62.

CANTONI, V. *et al.* Art Masterpieces Accessibility for Blind and Visually Impaired People. **Computers Helping People with Special Needs**, p. 267-274, 2018. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-94274-2_37.

CARDOSO, Eduardo *et al.* Tecnologias tridimensionais para acessibilidade em Museus. *In*: Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics, 17., 2013, Valparaiso. **Proceedings [...]**. Valparaiso: SIGRADI, 2013, p. 444-448. DOI: <http://dx.doi.org/10.5151/despro-sigradi2013-0085>.

CARRERO-PAZOS, M.; ESPINOSA-ESPINOSA, D. Tailoring 3D modelling techniques for epigraphic texts restitution. Case studies in deteriorated Roman inscriptions. **Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage**, v. 10, p. e00079, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.daach.2018.e00079>.

CARROZZINO, M.; BERGAMASCO, M. Beyond virtual museums: Experiencing immersive virtual reality in real museums. **Journal of Cultural Heritage**, v. 11, n. 4, p. 452-458, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2010.04.001>.

CERRI, G. *et al.* The Bartolomeo Ammannati's Fountain: an artifact in progress. **Procedia Structural Integrity**, v. 11, p. 274-281, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2018.11.036>.

CIANCIARULO, D. From local traditions to "augmented reality". The MUVIG Museum of Viggiano (Italy). **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 188, p. 138-143, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.03.349>.

CIRULIS, A.; DE PAOLIS, L. T.; TUTBERIDZE, M. Virtualization of digitalized cul-

tural heritage and use case scenario modeling for sustainability promotion of national identity. **Procedia Computer Science**, v. 77, p. 199-206, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.384>.

D'AGNANO, F. *et al.* Tooteko: A case study of augmented reality for an accessible cultural heritage. Digitization, 3D printing and sensors for an audio-tactile experience. **The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. XL-5/W4, p. 207-213, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-207-2015>.

DANTAS, P. V. F. **Aquisição geométrica e de reflectância para renderização baseada em física (PBR) aplicada à visualização 3D interativa**. 2018. Dissertação (Mestrado em Design) – Programa de Pós-graduação em Design, UFRGS, Porto Alegre, 2018.

EROLIN, C.; JARRON, M.; CSETENYI, L. J. Zoology 3D: Creating a digital collection of specimens from the D'Arcy Thompson Zoology Museum. **Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage**, v. 7, p. 51-55, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.daach.2017.11.002>.

EVIN, A. *et al.* The use of close-range photogrammetry in zooarchaeology: Creating accurate 3D models of wolf crania to study dog domestication. **Journal of Archaeological Science: Reports**, v. 9, p. 87-93, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.06.028>.

FENU, C.; PITTARELLO, F. Svevo tour: The design and the experimentation of an augmented reality application for engaging visitors of a literary museum. **International Journal of Human-Computer Studies**, v. 114, p. 20-35, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2018.01.009>.

FLORES, A. B. H.; SILVA, F. P.; KINDLEIN JUNIOR, W. Digitalização Tridimensional na preservação de monumentos públicos. *In*: REZENDE, Marco Antônio Penido de (org.). **Tecnologia do ambiente construído e interdisciplinaridade**. Belo Horizonte: IEDS, 2012, p. 123-141. ISBN 978-85-62372-14-8. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/342219568_Digitalizacao_Tridimensional_na_preservacao_de_monumentos_publicos>. Acesso em: 20 mar. 2021.

FLORES, A. B. H. **Design, território e tecnologia 3D na preservação cultural em suporte material sustentável: estudo de caso do monumento "O Laçador"**. 2012. Dissertação (Mestrado em Design) – Programa de Pós-graduação em Design, UFRGS, Porto Alegre, 2012.

FURFERI, R. *et al.* From 2D to 2.5D i.e. from painting to tactile model. **Graphical Models**, v. 76, n. 6, p. 706-723, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gmod.2014.10.001>.

GOMES, L.; BELLON, O. R. P.; SILVA, L. 3D reconstruction methods for digital preservation of cultural heritage: A survey. **Pattern Recognition Letters**, v. 50, p. 3-14, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2014.03.023>.

GUTTENTAG, D. A. Virtual reality: Applications and implications for tourism. **Tourism Management**, v. 31, n. 5, p. 637-651, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2009.07.003>.

HUANG, W.; XIANG, H.; LI, S. The application of augmented reality and unity 3D in interaction with intangible cultural heritage. **Evolutionary Intelligence**, p. 1-9, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12065-019-00314-6>.

KERSTEN, T. P. *et al.* Virtual reality for cultural heritage monuments–From 3D data recording to immersive visualisation. **Euro-Mediterranean Conference**, 2018. p. 74-83. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-01765-1_9.

KUZMINSKY, S. C.; GARDINER, M. S. Three-dimensional laser scanning: poten-

tial uses for museum conservation and scientific research. **Journal of Archaeological Science**, v. 39, n. 8, p. 2744-2751, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2012.04.020>.

KYRIAKOU, P.; HERMON, S. Can I touch this? Using natural interaction in a museum augmented reality system. **Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage**, v. 12, p. e00088, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.daach.2018.e00088>.

LANCASTER, J. Pre-and post-arson three-dimensional reconstructions of the Lichtenwalter schoolhouse, Green, Ohio. **Digital applications in archaeology and cultural heritage**, v. 8, p. 1-9, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.daach.2018.02.001>.

LEVOY, Marc *et al.* The digital Michelangelo project: 3D scanning of large statues. Annual conference on Computer graphics and interactive techniques, 27., 2000, New Orleans. **Proceedings [...]**. New Orleans: SIGGRAPH, 2000, p. 131-144.

MEDEIROS, A. T. T.; SILVA, F. P. O uso da digitalização tridimensional no mapeamento de danos dos ladrilhos hidráulicos do Paço dos Açorianos de Porto Alegre [RS]. **Labor & Engenho**, v. 13, p. e09017-e09017, 2019. DOI: <https://doi.org/10.20396/labore.v13i0.8656163>.

MERCHÁN, M. J. *et al.* Digital fabrication of cultural heritage artwork replicas. In the search for resilience and socio-cultural commitment. **Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage**, v. 15, p. e00125, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.daach.2019.e00125>.

MONTUSIEWICZ, J.; MIŁOSZ, M.; KĘSIK, J. Technical aspects of museum exposition for visually impaired preparation using modern 3D technologies. *In*: Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2018, Tenerife. **Proceedings [...]**. Tenerife: IEEE, 2018. p. 768-773. DOI: <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2018.8363308>.

MUNIZ, G. R. *et al.* Design, educação e tecnologia: análise da geração de conteúdo PDF 3D para fins didáticos. **Educação gráfica**, v. 20, n. 2, p. 7-18, 2016.

MUNIZ, Guilherme Resende. **O uso do design e das tecnologias 3D na criação do repositório digital de elementos de fachada dos prédios históricos da UFRGS**. 2015. Dissertação (Mestrado em Design) – Programa de Pós-graduação em Design, UFRGS, Porto Alegre, 2015.

MUNIZ, G. R.; SILVA, F. P.; KINDLEIN JÚNIOR, W. Design, tecnologia e patrimônio: digitalização tridimensional como ferramenta de preservação de elementos de prédios históricos. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 13, n. 2, p. 53-66, 2018. DOI: <https://doi.org/10.11606/gtp.v13i2.138358>.

PATAY-HORVÁTH, A. The virtual 3D reconstruction of the east pediment of the temple of Zeus at Olympia an old puzzle of classical archaeology in the light of recent technologies. **Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage**, v. 1, n. 1, p. 12-22, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.daach.2013.06.001>.

PAVLIDIS, G. *et al.* Methods for 3D digitization of cultural heritage. **Journal of cultural heritage**, v. 8, n. 1, p. 93-98, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2006.10.007>.

PEREIRA, J. R. M. **Processamento do arenito por fresamento CNC, a partir da digitalização 3D, para produção de réplicas de objetos do patrimônio cultural**. 2019. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, UFRGS, Porto Alegre, 2019.

PIX4D. **Modeling Christ the Redeemer statue in 3D**. 2016. Disponível em:

<<https://www.pix4d.com/blog/mapping-christ>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

POHLMANN, M; DUARTE, L. C.; SILVA, F. P. O uso da tecnologia da digitalização tridimensional a laser na documentação de inscrições rupestres: estudo de caso do Abrigo da Pedra Grande. *In: Workshop Design & Materiais*, 6., 2012, Bauru. **Anais [...]**. Bauru: Workshop Design & Materiais, 2012.

PRATALI MAFFEI, S. *et al.* Advanced 3d technology in support of the bim processes in the cultural heritage: in-depth analysis of the case study of the roman fluvial port of Aquileia (Italy). **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. XLII-2/W11, p.989-993, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W11-989-2019>.

REICHINGER, A. *et al.* Spaghetti, Sink and Sarcophagus: Design Explorations of Tactile Artworks for Visually Impaired People. *In: Nordic Conference on Human-Computer Interaction*, 9., 2016, Gothenburg. **Proceedings [...]**. Gothenburg: NordiCHI, 2016. p. 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1145/2971485.2996471>.

REICHINGER, A.; CARRIZOSA, H. G.; TRAVNICEK, C. Designing an Interactive Tactile Relief of the Meissen Table Fountain. **International Conference on Computers Helping People with Special Needs**, p. 209-216, 2018. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-94274-2_28.

ROBINSON, M. G. P. *et al.* Neolithic Temples of Malta: 3D analysis points to novel roof reconstruction. **Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage**, v. 13, p. e00095, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.daach.2019.e00095>.

RODRIGUES JUNIOR, J. F. *et al.* Aleijadinho 3D: tecnologia na difusão e preservação do patrimônio cultural. *In: Convenção do Patrimônio Imaterial: 10 anos depois [2003-2013]*, 7., 2013, Pelotas. **Anais [...]**. Pelotas: SIMP, 2013.

ROSSETTI, V. *et al.* Enabling Access to Cultural Heritage for the visually impaired: an Interactive 3D model of a Cultural Site. **Procedia computer science**, v. 130, p. 383-391, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.057>.

ROSSI, W. S.; SILVA, F. P.; KINDLEIN JÚNIOR, W. A utilização de modelos 3D para a preservação e divulgação de peças do patrimônio histórico e cultural: estudo de caso com escarradeira e urinol. **Arcos Design**, v. 7, n. 2, p. 69-79, 2013. DOI: <https://doi.org/10.12957/arcosdesign.2013.12182>.

SCHROEDER, W. J.; ZARGE, J. A.; LORENSEN, W. E. Decimation of triangle meshes. *In: Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, 9., 1992, Chicago. **Proceedings [...]**. Chicago: SIGGRAPH, 1992. DOI: <https://doi.org/10.1145/133994.134010>.

SCOPIGNO, R. *et al.* Digital fabrication techniques for cultural heritage: A survey. *In: Computer Graphics Forum*. 2017. p. 6-21. DOI: <https://doi.org/10.1111/cgf.12781>.

SEGRETO, T. *et al.* Non-contact reverse engineering modeling for additive manufacturing of down scaled cultural artefacts. **Procedia CIRP**, v. 62, p. 481-486, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.042>.

SILVA, F. P. **O uso da digitalização tridimensional a laser no desenvolvimento e caracterização de texturas aplicadas ao design de produtos**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, UFRGS, Porto Alegre, 2006.

SILVA, F. P. *et al.* A Digitalização Tridimensional Móvel e sua aplicação no Design de Produto. **Design & Tecnologia**, vol. 1, n. 1, p. 60-65, 2010.

SILVA, F. P.; CALDOVINO, G. C. Produção de réplicas acessíveis de peças museológicas via impressão 3d por filamento termoplástico. *In: International*

Conference on Integration of Design, Engineering and Management for Innovation, 4., 2015, Florianópolis. Anais [...]. Florianópolis: IDEMI, 2015.

SURAZHISKY, V.; GOTSMAN, C. A qualitative comparison of some mesh simplification software packages. **Preprint**, Mar, 2005.

TUCCI, G. *et al.* High-quality 3d models and their use in a cultural heritage conservation project. **The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. XLII-2/W5, p.687-693, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-687-2017>.

TURK, G. Re-Tiling Polygonal Surfaces. *In*: Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, 9., 1992, Chicago. **Proceedings [...]**. Chicago: SIGGRAPH, 1992, p. 55 - 64. DOI: <https://doi.org/10.1145/133994.134008>.

VOLPE, Yary *et al.* Computer-based methodologies for semi-automatic 3D model generation from paintings. **International Journal of Computer Aided Engineering and Technology**, v. 6, n. 1, p. 88-112, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJCAET.2014.058012>.

WACHOWIAK, M. J.; KARAS, V. 3D Scanning and Replication for Museum and Cultural Heritage Applications. **Journal of the American Institute for Conservation**, v. 48, p. 141-158, 2009.

WILSON, P. F. *et al.* Evaluation of touchable 3D-printed replicas in museums. **Curator: The Museum Journal**, v. 60, n. 4, p. 445-465, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/cura.12244>.

WILSON, P. F. *et al.* Museum visitor preference for the physical properties of 3D printed replicas. **Journal of Cultural Heritage**, v. 32, p. 176-185, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.02.002>.

WONG, L.; SANTANA QUINTERO, M. Tutankhamen's two tombs: replica creation and the preservation of our cultural heritage in the digital age. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 42, n. 2/W11, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W11-1145-2019>.

ZHANG, J. J. Least distorted bump mapping onto surface patches. **Computers & Graphics**, v. 22, n. 2-3, p. 233-242, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0097-8493\(98\)00012-0](https://doi.org/10.1016/S0097-8493(98)00012-0).

Como citar este capítulo (ABNT):

SILVA, F. P., POHLMANN, M., MARCON, C. T., BARBIERI, G., KAUFFMANN, A. R. Contribuições das tecnologias 3D à preservação do patrimônio cultural em Porto Alegre. *In*: OLIVEIRA, G. G. de; NÚÑEZ, G. J. Z. **Design em Pesquisa – Volume 4**. Porto Alegre: Marcavisual, 2021. cap. 22, p. 435-457. E-book. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/iicd/publicacoes/livros>. Acesso em: 5 ago. 2021 (exemplo).

Como citar este capítulo (Chicago):

Silva, Fabio Pinto da, Mariana Pohlmann, Catherine Teixeira Marcon, Gabriel Barbieri and Aline Reis Kauffmann. 2021. "Contribuições das tecnologias 3D à preservação do patrimônio cultural em Porto Alegre." *In* Design em Pesquisa - Volume 4, edited by Geísa Gaiger de Oliveira and Gustavo Javier Zani Núñez, 435-457. Porto Alegre: Marcavisual. <https://www.ufrgs.br/iicd/publicacoes/livros>.