

DIGITALIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL DE PEÇAS HISTÓRICAS EM CALCÁRIO LIOZ POR FOTOGRAMETRIA E ESCANEAMENTO 3D

DIGITALIZATION OF LIOZ LIMESTONE HISTORIC PIECES BY FOTOGRAMMETRY AND 3D SCANNING

Thaís Rangel de Souza

Aluna de Graduação em Artes Visuais Escultura 10º período
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Período PIBIC: setembro de 2025 a agosto de 2026
thaisrangel@ufrj.br

Nuria Fernández Castro

Orientadora, Engenheira de Minas, D.Sc.
ncastro@cetem.gov.br

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Coorientador, Engenheiro Químico, D.Sc.
rcarlos@cetem.gov.br

RESUMO

A pesquisa teve como objetivo principal criar um gêmeo digital dos capitéis em Calcário Lioz do século XVIII, originários da Igreja dos Jesuítas no Morro do Castelo e atualmente sob a guarda do Museu da Geodiversidade da UFRJ, utilizando a fotogrametria e escaneamento 3D com scanner de luz estruturada (Artec Spider) como ferramentas de documentação tridimensional para subsidiar o monitoramento da deterioração e a conservação desses elementos pétreos. A metodologia envolveu estudo bibliográfico e o desenvolvimento de modelos dos capitéis do conjunto mediante levantamento fotográfico sistemático e escaneamento tridimensional, processamento das imagens e das nuvens de pontos em software especializado, e refinamento dos modelos para remoção de elementos não pertencentes às peças, ajuste dimensional e simulação de iluminação. A abordagem híbrida integra a riqueza textural da fotogrametria à precisão geométrica do escaneamento a laser, permitindo a documentação completa de superfícies de geometria complexa e regiões de oclusão. Os modelos gerados servem de base para a digitalização do acervo, viabilizando, futuramente, o monitoramento temporal do estado de conservação, a reconstrução virtual das áreas com perdas, e a criação de experiências em realidade aumentada e virtual, democratizando o acesso da sociedade a este patrimônio.

Palavras chave: Digitalização 3D; fotogrametria; escaneamento a laser.

ABSTRACT

The research aimed to create a digital twin of the 18th-century Lioz Limestone capitals, originally from the Jesuit Church on Morro do Castelo and currently under the care of the Geodiversity Museum at UFRJ, using photogrammetry and 3D scanning with a structured-light scanner (Artec Spider) as three-dimensional documentation tools to support deterioration monitoring and conservation of these stone elements. The methodology involved a bibliographic study and the development of models of the capitals through systematic photographic surveying and three-dimensional scanning, processing of images and point clouds in specialized software, and refinement of the models to remove elements not belonging to the pieces, dimensional adjustment, and lighting simulation. The hybrid approach integrates the textural richness of photogrammetry with the geometric precision of laser scanning, enabling complete documentation of complex geometry surfaces and occlusion regions. The generated models serve as a basis for digitizing the collection, enabling, in the future, temporal monitoring of the conservation state, virtual reconstruction of areas with material loss, and the creation of augmented and virtual reality experiences, democratizing society's access to this heritage.

Keywords: 3D digitization; photogrammetry; laser scanning.

1. INTRODUÇÃO

A digitalização tridimensional (3D) tem se consolidado como uma ferramenta para a documentação e conservação de bens culturais. A reprodução digital fiel da geometria de objetos, edificações e sítios históricos, emerge como estratégia indispensável para a preservação da memória cultural, viabilizando registros permanentes que subsidiam pesquisas e ações de restauro (Bentes et al., 2021). A documentação digital para conservação preventiva enfatiza que a criação de bases de dados tridimensionais detalhadas, obtidas por meio de varredura laser e fotogrametria, constitui a base para práticas de manutenção planejada. Esta abordagem assegura a detecção precoce de vulnerabilidades, minimiza intervenções invasivas e promove a longevidade dos bens culturais (Martino et al., 2025). Entre as técnicas disponíveis, a fotogrametria destaca-se por conciliar eficácia, versatilidade e acessibilidade com baixo custo operacional (Ataiwe et al., 2021), enquanto scanners 3D oferecem maior precisão geométrica em superfícies com relevos detalhados (Minaroviech, 2017), de modo que a integração entre ambas vem sendo considerada como abordagem híbrida promissora (Martino et al., 2025).

O Museu da Geodiversidade da UFRJ, salvaguarda uma coleção de peças pétreas remanescentes da demolição da Nova Igreja dos Jesuítas do Morro do Castelo, o primeiro núcleo urbano do Rio de Janeiro. A construção da igreja teve início em 1744, mas foi interrompida quando a ordem foi expulsa do Brasil, em 1759, permanecendo inacabada até o arrasamento do morro, em 1922 (Silva, 2013). A coleção é composta de oito capiteis e três peças de cornijas ou bases em Calcário Lioz, Pedra do Patrimônio mundial pela União Internacional das Ciências Geológicas — IUGS (Ehling et al., 2024) e se encontra exposta no pátio do museu. O estado de deterioração das peças está sendo avaliado pelo Laboratório de Conservação e Alterabilidade de Materiais e Construção — LACON/CETEM (Brandão et al., 2025) por meio de análises não destrutivas. A digitalização desses elementos artísticos viabilizará o registro fiel dos resultados obtidos contribuindo para a conservação preventiva e a manutenção da historicidade e valor cultural da obra jesuítica.

2. OBJETIVOS

Digitalizar as peças em Calcário Lioz da coleção sob guarda do Museu da Geodiversidade — UFRJ, por fotogrametria e escaneamento 3D, para subsidiar o monitoramento da deterioração e a conservação desses elementos pétreos.

3. METODOLOGIA

Seguindo o modelo desenvolvido em uma etapa anterior (Rangel *et al.*, 2025), as onze peças da coleção jesuítica foram digitalizadas por meio de fotogrametria de curto alcance com smartphone (câmera de 50 megapixels) e iPad de 8ª geração, processadas no software Polycam® e refinadas no software Nomad®. A seguir, foi realizado o escaneamento 3D com scanner Artec Spider (luz estruturada), cedido pelo Laboratório de Tecnologia Mineral, do Programa de Engenharia Metalúrgica e Materiais - COPPE / UFRJ, em condições controladas de iluminação e com o scanner posicionado a 30-40 cm da peça e conectado a um notebook Lenovo LOQ-e, com o software Artec Studio®. Após a captura, as nuvens de pontos foram alinhadas utilizando a ferramenta Align do Artec Studio, reunindo os diferentes escaneamentos em um único sistema de coordenadas por meio de seleção manual de pontos, com inspeção visual para remoção de elementos mal alinhados, assegurando a fidelidade geométrica dos modelos finais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação do fluxo de trabalho fotogramétrico resultou na geração de modelos tridimensionais de alta fidelidade para o conjunto de capitéis jesuíticos que compõem o acervo (Figura 1). Os modelos apresentam malhas poligonais com densidade entre 50 mil e 150 mil vértices, resolução suficiente para representar com precisão os elementos ornamentais, como, volutas e folhas de acanto incluindo concavidades e relevos sutis (Figura 2). A geração de gêmeos digitais

utilizando a fotogrametria, também poderá viabilizar a criação de experiências imersivas em realidade virtual, permitindo que o público observe os capitéis em escala real, sob ângulos livremente escolhidos e em condições ideais de iluminação (Figura 3).



Figura 1: Gêmeos Digitais de algumas peças da coleção Jesuític do Morro do Castelo.



Figura 2: Malha Isométrica formada por polígonos e vértices.



Figura 3: Realidade Virtual: Capitel Físico (direita) e Digital lado a lado.

A texturização em 8K assegura a nitidez dos detalhes superficiais em aproximações extremas, permitindo a visualização de marcas de identificação e desgaste natural da pedra.

4.1 Digitalização com Scanner 3D Artec Spider

O escaneamento com o scanner Artec Spider revelou-se particularmente eficaz para o registro de superfícies com variações topográficas, como as concavidades entre os elementos decorativos e as volutas laterais dos capitéis, onde a luz estruturada conseguiu penetrar e capturar detalhes com alta fidelidade. Adicionalmente, o scanner mostrou-se sensível à

rugosidade natural da rocha e às marcas de desgaste, registrando com clareza microfraturas, perdas de massa e sulcos decorrentes do intemperismo e da exposição prolongada ao ar livre. A capacidade de capturar superfícies de geometria não planar e regiões de oclusão, aliada à iluminação ativa proporcionada pela luz estruturada, garantiu a cobertura mesmo em áreas de difícil alcance visual. A versão digitalizada obtida pelo scanner (Figura 4A) evidencia a precisão geométrica na representação dos relevos e reentrâncias, enquanto a versão gerada por fotogrametria (Figura 4B) se destaca pela riqueza textural e fidelidade cromática, demonstrando a complementaridade das duas técnicas.

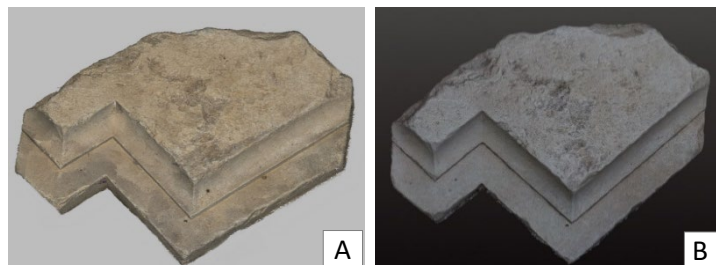


Figura 4: A) Peça gerada com Scanner 3D; B) Peça gerada com fotogrametria.

4.2 Aplicações Científicas e Medições Virtuais

Os modelos digitais viabilizam a extração de dados dimensionais, como, distâncias lineares, ângulos, perímetros e áreas sem necessidade de contato físico com as peças (Figura 5) com precisão comparável à de instrumentos convencionais, e podem auxiliar com a realização de análises diagnósticas que requerem distâncias precisas como o ultrassom, por exemplo, bem com a recomposição de partes faltantes por impressão 3D (Bonfada *et al.*, 2020). Podem se inserir metadados diversos nos modelos, como os resultados de medições e ações de conservação realizadas ao longo do tempo com sua localização e realizar análises comparativas por sobreposição de modelos (*cloud-to-mesh comparison*) para identificar assimetrias e variações estilísticas entre as peças, bem como o monitorar alterações ao longo do tempo. Esta capacidade de medição remota é particularmente relevante para peças expostas a intempéries, poluição e maresia (fatores que aceleram a deterioração) convertendo os modelos digitais em ferramentas ativas de preservação.

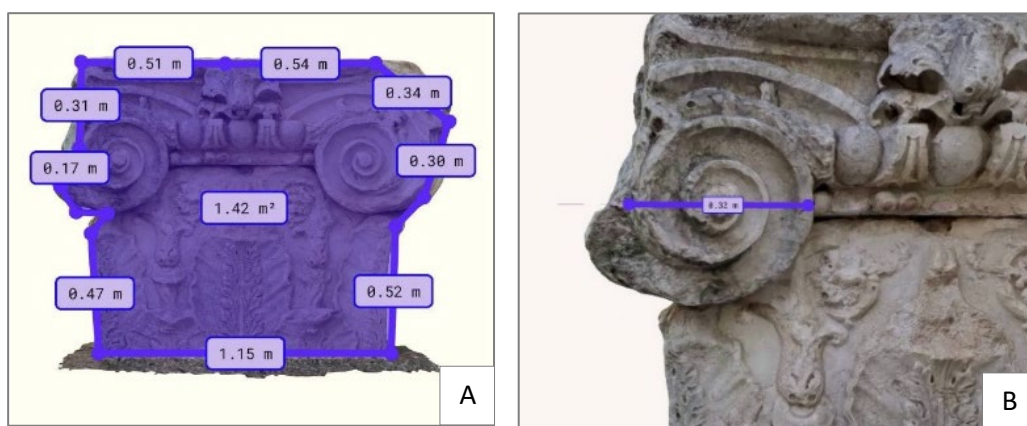


Figura 5: A) Exemplos de medições dimensionais no modelo digital; B) Cálculo de distância.

5. CONCLUSÕES

A pesquisa demonstrou que a integração entre fotogrametria e escaneamento a laser constitui uma abordagem eficaz para a documentação tridimensional de bens patrimoniais esculpidos em rocha, como os capitéis jesuítcos do Morro do Castelo. Os gêmeos digitais gerados apresentam confiabilidade geométrica, viabilizando aplicações científicas como medições dimensionais precisas e monitoramento de alterações ao longo do tempo, convertendo os modelos em

ferramentas ativas de conservação preventiva para o calcário Lioz, especialmente relevante para peças expostas a intempéries, poluição e maresia. A abordagem metodológica desenvolvida apresenta potencial de replicação para outros elementos do patrimônio construído em rocha, contribuindo para a formação de acervos digitais voltados à documentação e preservação de bens culturais e geológicos, assegurando que os gêmeos digitais dos capitéis jesuíticos se constituam como cápsulas do tempo digitais, que preservam a forma, a aparência e as características materiais das peças, protegendo-as contra os riscos de degradação e garantindo sua memória para as futuras gerações, além de possibilitar, como desdobramento, a criação de ambientes imersivos em realidade virtual para divulgação científica e engajamento público.

6. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela concessão da bolsa de pesquisa, fundamental para o desenvolvimento do projeto; ao CETEM pelo suporte e infraestrutura e aos colegas do LACON e ao pesquisador Gabriel Pantoja Barros pelo apoio e viabilização da execução deste trabalho; ao Professor Luis Marcelo Marques Tavares, do LTM-COPPE/UFRJ, pela cessão do scanner; e ao MGEO-UFRJ pela disponibilização do acesso à coleção e por todo o apoio institucional que tornou possível a realização desta pesquisa.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATAIWE, T. N.; HATEM, I.; AL SHARAA, H. M. J. Digital Model in Close-Range Photogrammetry Using a Smartphone Camera. *E3S Web of Conferences*, v.318,04005,2021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202131804005>

BENTES, J; PATZLAFF, C. A digitalização 3D como ferramenta de documentação e preservação do patrimônio arquitetônico. In: Seminário Ibero-Americano Arquitetura E Documentação, 7., 2021. Anais... Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/355859602_A_Digitalizacao_3D_como_Ferramenta_de_Documentacao_e_Preservacao_do_Patrimonio_Arquitetonico. Acesso em: 24 de julho de 2026.

BRANDÃO, J. A.; CASTRO, N. F.; CERQUEDA, M. L. A. Diagnóstico da Degradação do Calcário Lioz nos Capitéis Jesuíticos do Morro do Castelo. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 33.; JORNADA DE INICIAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO E INOVAÇÃO, 9., 2025, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2025. p. 117-122. Disp. em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/2967>. Ac. em: 21 jul. 2026.

EHLING, A., KAUR, G., JACKSON, P. N. W., CASSAR, J., DEL LAMA, E. A., HELDAL, T. The first 55 IUGS Heritage Stones. IUGS Subcomission on Heritage Stones, 2024.

MARTINO, A.; SPADARO, A.; MATRONE, F.; LINGUA, A. M. Sensor integration for the documentation and planned maintenance of Cultural Heritage. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Xiamen, v. 48-1/W5, p. [85–92], 2025. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-1-W5-2025-85-2025>

MINAROVIECH, J. Digitization of the Cultural Heritage of Slovakia. *Combining of Lidar Data and Photogrammetry. Studies in Digital Heritage*, v. 1, n. 2, p. 590-606, 2017. <https://doi.org/10.14434/sdh.v1i2.23286>.

SOUZA, T. R.; CASTRO, N. F.; RIBEIRO, R. C. C. Desenvolvimento de modelo digital 3D para documentação e conservação dos capitéis jesuíticos do Morro do Castelo. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 33.; JORNADA DE INICIAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO E INOVAÇÃO, 9., 2025, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2025. p. 254-259. Disponível em: cetem.gov.br. Acesso em: 21 jul. 2026.

SILVA, C. A. T. A igreja de Santo Inácio: cem anos de história, 1912-2012. Rio de Janeiro: Colégio Santo Inácio, 2013. 36 p.