



**Produção de nuvens de pontos como suporte à documentação e comunicação inclusiva sobre o estado de conservação da materialidade dos Sítios Missioneiros**

**Point Cloud Production to Support Documentation and Inclusive Communication of the Conservation State of Materiality in Mission Sites**

**Edemar Dias Xavier Júnior**

Doutorando do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo  
Universidade Federal de Pelotas  
<https://orcid.org/0000-0002-3669-6527>  
[edemar.xavier@inf.ufpel.edu.br](mailto:edemar.xavier@inf.ufpel.edu.br)

**Rafael Redü Eslabão**

Graduando em Design de Produto  
Centro Educacional Leonardo da Vinci, Uniasselvi  
<https://orcid.org/0009-0008-5026-1774>  
[rafael.eslabao@outlook.com](mailto:rafael.eslabao@outlook.com)

**Karine Chalmes Braga**

Mestra em Arquitetura e Urbanismo  
Universidade Federal de Pelotas  
<https://orcid.org/0009-0001-0438-916X>  
[chalmes-karine@hotmail.com](mailto:chalmes-karine@hotmail.com)

**Maria Matilde Villegas Jaramillo**

Mestra em Preservação do Patrimônio Cultural  
Universidade do Sul de Santa Catarina  
<https://orcid.org/0009-0000-4710-0445>  
[mariamatilevillegasj@gmail.com](mailto:mariamatilevillegasj@gmail.com)

**Adriane Borda Almeida da Silva**

Doutora em Educação, Professora Titular  
Universidade Federal de Pelotas  
<http://orcid.org/0000-0001-6760-6566>  
[adribord@hotmail.com](mailto:adribord@hotmail.com)

**Nota editorial:**

Este artigo é uma versão revisada de trabalho selecionado no *fast-track* do Conviver 2025 – Habitação Popular: Patrimônio Nacional para publicação na Revista REGRASP.

**Histórico do artigo**

**Recebido: 30 mar. 2026**

**Aprovado: 01 abr. 2026**

**Publicado: 01 abr. 2026**

## RESUMO

Este estudo insere-se nas ações do Canteiro *Saberes das Missões*, projeto desenvolvido pela Universidade Federal de Pelotas (UFPel) em parceria com o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN). Trata da produção de documentação digital dos remanescentes de quatro sítios missionários localizados no Rio Grande do Sul, São Miguel Arcanjo, São Lourenço Mártir, São Nicolau e São João Batista, todos tombados pelo IPHAN, sendo o sítio de São Miguel Arcanjo reconhecido como Patrimônio Mundial pela UNESCO. Apresentam-se os resultados de três momentos de levantamento fotogramétrico e fotográfico realizados entre outubro de 2024 e setembro de 2025, orientados a subsidiar a implantação de um canteiro modelo voltado à formação de artífices para a conservação desses sítios. Os levantamentos resultaram na geração de modelos digitais tridimensionais, incluindo nuvens de pontos, e na produção de modelos físicos, constituindo suporte às atividades de valoração, consolidação e conservação do patrimônio cultural. O processo evoluiu da fotogrametria aérea e terrestre para experimentações com varredura LiDAR e modelagem tridimensional texturizada. As bases produzidas, compostas por arquivos imagéticos e modelos digitais em formatos abertos, formam um acervo que subsidia análises comparativas entre estágios pré e pós-intervenção e apoia a comunicação técnica entre pesquisadores e artífices locais.

**Palavras-chave:** fotogrametria; patrimônio cultural; nuvem de pontos; conservação; Missões Jesuíticas-Guarani.

## ABSTRACT

This study is part of the “Saberes das Missões” activities, a project developed by the Federal University of Pelotas (UFPel) in partnership with the National Institute of Historic and Artistic Heritage (IPHAN). It addresses the production of digital documentation of the remains of four missionary sites located in Rio Grande do Sul, São Miguel Arcanjo, São Lourenço Mártir, São Nicolau and São João Batista, all listed as heritage by IPHAN, with the site of São Miguel Arcanjo additionally recognized as a World Heritage Site. The results of three phases of photogrammetric and photographic surveys conducted between October 2024 and September 2025 are presented, aimed at supporting the implementation of a model workshop focused on training artisans for the conservation of these sites. The surveys resulted in the generation of three-dimensional models, including point clouds, and the production of physical models, supporting activities of valuation, consolidation, and conservation of cultural heritage. The process evolved from aerial and terrestrial photogrammetry to experiments with LiDAR scanning and textured three-dimensional modeling. The resulting datasets, composed of image files and digital models in open formats, form a collection that supports comparative analyses between pre- and post-intervention stages and assists technical communication between researchers and artisans.

**Keywords:** photogrammetry; cultural heritage; point cloud; conservation; Jesuit-Guarani Missions.

## Introdução

A produção de representações digitais tridimensionais tem se consolidado, nas últimas décadas, como uma prática fundamental para subsidiar e potencializar ações de preservação e de gestão de bens históricos. Tecnologias baseadas em fotogrametria e escaneamento a laser possibilitam o registro preciso das condições físicas de sítios e edificações, permitindo a geração de documentação técnica de arquitetura e de produtos visuais que apoiam atividades de pesquisa, restauro, conservação e divulgação do patrimônio cultural (Quattrini et al., 2015; Gabellone, 2022). Para além de seu valor como registro, essas representações têm ampliado as possibilidades de análise, comunicação e planejamento das intervenções, sobretudo em contextos marcados pela fragilidade material e pela necessidade de ações preventivas.

Os processos de levantamento por fotogrametria e escaneamento a laser resultam, entre outros produtos, em nuvens de pontos, compreendidas como modelos digitais tridimensionais que descrevem geometricamente superfícies e volumes a partir da produção sistemática de dados espaciais. Quando elaboradas de forma criteriosa e organizadas em séries temporais, essas representações tornam-se um suporte técnico relevante para a leitura do estado de conservação de edificações históricas, permitindo análises comparativas ao longo do tempo e subsidiando decisões projetuais e operacionais no campo da preservação.

É nesse horizonte que se insere o presente estudo, que relata um processo de produção de documentação digital com foco na geração e aplicação de nuvens de pontos, desenvolvido a partir de três etapas de trabalho de campo realizadas nos sítios missioneiros de São Miguel Arcanjo, São Lourenço Mártir, São Nicolau e São João Batista. Esses sítios correspondem aos remanescentes de antigas reduções jesuítico-guarani implantadas a partir do século XVII no sul da América do Sul, associadas ao processo de evangelização e de organização territorial conduzido pela Companhia de Jesus, entre diálogo e conflito, com populações indígenas guarani. No território brasileiro, localizam-se no noroeste do estado do Rio Grande do Sul, em áreas hoje inseridas em municípios de pequeno porte, caracterizadas por uma estreita relação entre paisagem rural, vestígios arqueológicos e estruturas arquitetônicas em alvenaria de pedra.

A documentação produzida tem como finalidade inicial subsidiar o planejamento das ações de preservação dos remanescentes edificados, bem como apoiar a organização e o desenvolvimento de um canteiro modelo de conservação nesses sítios.

Mais do que um exercício de registro técnico, a documentação digital desenvolvida neste trabalho é concebida como suporte estruturante à implantação de um canteiro modelo de conservação, orientado à formação de novos artífices e à qualificação das práticas de consolidação das ruínas missioneiras.

Os quatro sítios missioneiros abordados são reconhecidos pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) como bens culturais protegidos. Entre eles, o sítio de São Miguel Arcanjo possui, adicionalmente, reconhecimento pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) como Patrimônio Mundial. Esses conjuntos apresentam edificações em estado de arruinamento, expostas às intempéries, ao crescimento da vegetação e a processos contínuos de degradação natural ou decorrentes da ação humana. Frente às transformações climáticas e à fragilidade material dos remanescentes, o registro tridimensional assume um papel estratégico como instrumento de valoração e de conservação preventiva (Hutson; Weber & Russo, 2023), ao permitir a leitura técnica das transformações em curso e o planejamento mais qualificado das intervenções.

A produção de documentação aqui apresentada integra as ações do Projeto Saberes das Missões, desenvolvido em parceria entre a Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) e o IPHAN, no âmbito do Programa CONVIVER. Esse programa estrutura-se como uma rede de canteiros modelo de conservação implantados em diferentes territórios associados a bens culturais

protegidos, com o propósito de qualificar a vida das populações que vivem em seu entorno. Ao promover processos formativos voltados ao ensino de técnicas de conservação e consolidação de edificações históricas, o Programa CONVIVER busca fortalecer a atuação de comunidades locais como guardiãs do patrimônio, enfrentando, de forma colaborativa, a hipossuficiência institucional do próprio IPHAN diante da extensão e da complexidade dos bens sob sua responsabilidade.

No caso específico do canteiro modelo implantado nos sítios missioneiros do Rio Grande do Sul, o processo de documentação digital desempenha um papel estruturante. Antes de se configurar como instrumento de acompanhamento das intervenções, a documentação atua como apoio ao planejamento, permitindo reconhecer as condições materiais existentes, orientar diagnósticos e subsidiar a definição das estratégias de conservação e consolidação a serem adotadas. A precisão oferecida pelos métodos de fotogrametria e escaneamento a laser possibilita, ainda, a comparação entre modelos digitais produzidos em diferentes momentos, favorecendo um acompanhamento técnico mais qualificado das transformações ocorridas nos remanescentes ao longo do tempo.

Por fim, este estudo relata e problematiza a produção de documentação realizada até o momento no âmbito do projeto, não apenas como um conjunto de resultados técnicos, mas como parte de um processo em construção. Ao discutir os alcances e as limitações dessa experiência, o artigo busca apontar estratégias que possam qualificar as etapas futuras do trabalho, contribuindo para outros estudos que se proponham a articular documentação digital, planejamento de intervenções e processos formativos em contextos patrimoniais semelhantes.

### **A produção de documentação sobre os remanescentes dos Sítios Missioneiros**

A produção de documentação sobre os remanescentes arquitetônicos dos Sítios Missioneiros do Rio Grande do Sul não é recente e constitui um campo consolidado de investigação e prática técnica, particularmente no que se refere ao sítio de São Miguel Arcanjo. Nesse caso, os levantamentos realizados ao longo do tempo concentraram-se, em especial, nos remanescentes da antiga igreja, edificação que ainda preserva parte significativa de sua estrutura e que, por essa razão, tornou-se objeto privilegiado de estudos históricos e arquitetônicos.

A documentação produzida nesse âmbito deriva, inicialmente, de meios analógicos de representação, incluindo croquis, desenhos técnicos e registros gráficos sistematizados, associados a pesquisas de abordagem histórica, interpretativa e crítica (Stello, 2005; 2013; Custódio; 2002, 2010). Esses registros desempenharam papel fundamental na compreensão da organização espacial, das soluções construtivas e dos processos de transformação das ruínas missioneiras, constituindo uma base de referência para estudos posteriores e para ações de preservação e de difusão.

Mapas históricos e desenhos interpretativos subsidiam a compreensão de como se constituíam as reduções, termo utilizado para caracterizar os lugares dos povoados jesuítico-guarani. Este tipo de documentação associado aos levantamentos realizados ao longo do tempo, vem permitindo a produção de maquetes e modelos físicos para serem disponibilizadas como recursos educativos e lúdicos nos ambientes de recepção para a visita aos sítios e em espaços museológicos. A Figura 1 ilustra um desses exemplos.

**Figura 1**

*Imagens da maquete da Redução de São Miguel Arcanjo, desenvolvida a partir de um modelo de reconstituição computadorizada, localizada da Secretaria Municipal de Turismo de São Miguel.*



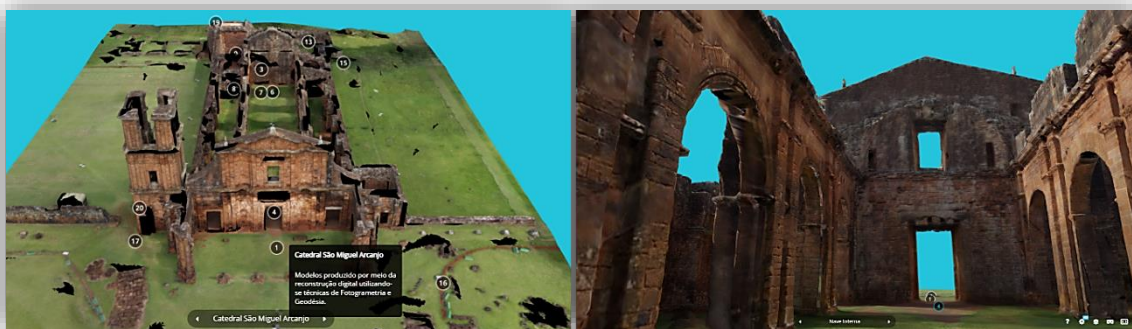
Fonte: Acervo fotográfico do Projeto Saberes das Missões, 2025.

Nas últimas décadas, esse repertório foi ampliado por representações produzidas por meios digitais, especialmente por modelagens tridimensionais desenvolvidas no âmbito de atividades acadêmicas e por iniciativas voltadas à documentação de patrimônio cultural. Como exemplo destas produções, Rocha e Danckwardt (2000) relatam o desenvolvimento do Projeto *Missões – Computação Gráfica*, pelo Núcleo de Computação Gráfica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, UNISINOS. Esse projeto incluiu a produção de modelos tridimensionais digitais aplicados ao sítio missioneiro de São Miguel Arcanjo, com foco em estratégias de visualização e educação patrimonial.

No que se refere ao uso de técnicas de fotogrametria, identificou-se o trabalho realizado pelo Laboratório de Fotogrametria da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LAFOTO). De acordo com o relato do Prof. Dr. Mario Reiss, membro da equipe deste laboratório (<https://www.youtube.com/watch?v=5uxQjNt50Hk>), foi desenvolvido, sob sua orientação, um trabalho de conclusão de curso em 2014 para realizar um levantamento experimental no Sítio de São Miguel. Na ocasião, este grupo de pesquisadores identificou a existência de marcações na fachada para constituir uma retícula de apoio a um levantamento fotogramétrico realizado no início da década de 80, por contratação do IPHAN. Em 2016 o LAFOTO estabeleceu uma parceria com o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), realizando um levantamento mais amplo tanto no sítio de São Miguel como no sítio de São Nicolau, envolvendo a fotogrametria e o escaneamento a laser para a produção de documentação tridimensional. Mais recentemente, com uma maior popularização destas tecnologias, foi intensificada a exploração das representações derivadas deste tipo de levantamento, disponibilizadas de maneira acessível em plataformas institucionais e em ambientes digitais de caráter educativo e de entretenimento, que incluem visualizações e modelos interativos conforme ilustrado na Figura 2.

**Figura 2**

*Modelo 3D interativo da Igreja de São Miguel Arcanjo, desenvolvido através de Termo de Cooperação entre IPHAN-RS e UFRGS, executado pelo LAFOTO, com uso de Fotogrametria, Varredura a Laser Terrestre, Topografia e Geodésia, disponível na página do laboratório na plataforma Sketchfab*



Fonte: Edição dos autores, 2026.

No âmbito das ações de conservação e consolidação, o corpo técnico do IPHAN desenvolveu e consolidou práticas específicas de registro sistemático das intervenções realizadas nos remanescentes dos quatro sítios missionários. Esses registros, fundamentais para o acompanhamento das obras e para a memória técnica das intervenções, baseiam-se predominantemente em técnicas tradicionais de desenho, articuladas ao uso de ferramentas digitais de apoio, como sistemas de desenho assistido por computador (CAD). As pranchas técnicas produzidas nesse processo permitem registrar o estado das estruturas, localizar áreas de intervenção e documentar soluções construtivas adotadas, constituindo um acervo técnico essencial à gestão do patrimônio. A Figura 3 facilita compreender o registro do estado encontrado de conservação dos remanescentes, por meio do desenho e sua associação com o registro fotográfico, para logo subsidiar o projeto de consolidação e ainda documentar a obra pós-intervenção para ser datada e protegida com medidas de conservação. Observa-se que os desenhos registram em detalhes o processo de intervenção, demonstrando o avanço de vegetações que se desenvolvem no interior das paredes duplas de alvenaria de pedras, comprometendo e destruindo as estruturas. As geometrias próprias das pedras exigem um desenho de observação e analítico individualizado para o planejamento do procedimento de desmontagem e remontagem da estrutura, para que seja mínima a intervenção.

### Figura 3

*Peças gráficas que compõem as pranchas de documentação das obras de consolidação do sítio de São João Batista, em Entre-Ijuís/RS, realizadas entre janeiro e março de 2004 pelo corpo técnico do IPHAN*



Fonte: Edição dos Autores, 2026.

Apesar de sua relevância, essas práticas de documentação apresentam limitações quando confrontadas com a necessidade de registrar transformações sutis, comparar estados sucessivos dos remanescentes ao longo do tempo e articular, de forma integrada, diagnóstico, planejamento e execução das intervenções. A ausência de modelos tridimensionais com uma geometria precisa dificulta, em muitos casos, a leitura espacial integrada das estruturas e a comunicação técnica entre diferentes agentes envolvidos no processo, como arquitetos, conservadores e artífices.

É nesse cenário que se insere a necessidade de investigar e incorporar outros modos de produção de documentação, capazes de dialogar com os procedimentos já estabelecidos e, ao mesmo tempo, ampliar suas possibilidades analíticas e operacionais. A introdução de modelos digitais baseados em nuvens de pontos apresenta-se, assim, como uma oportunidade de complementar os registros tradicionais, oferecendo suporte com representações precisas para o planejamento das ações de conservação que podem auxiliar na formação técnica desenvolvida no âmbito dos canteiros modelo. A seção seguinte descreve os materiais e métodos empregados neste estudo, detalhando os processos de produção de dados e de geração das representações digitais adotadas.

### **Materiais e Métodos empregados**

Os materiais e métodos empregados neste estudo foram definidos a partir do objetivo central do Projeto *Saberes das Missões*, que consiste em dar suporte técnico e operacional à implantação de um canteiro modelo de conservação voltado à formação de novos artifices para as ações de consolidação e conservação dos remanescentes arquitetônicos dos Sítios Missionários do Rio Grande do Sul. Nesse sentido, a documentação digital não foi concebida como um fim em si mesma, mas como instrumento de apoio ao planejamento das ações, à organização do canteiro e ao acompanhamento das atividades formativas desenvolvidas em campo.

A produção de dados digitais foi estruturada em três momentos de trabalho de campo, realizados entre outubro de 2024 e setembro de 2025, abrangendo os sítios de São Miguel Arcanjo, São Lourenço Mártir, São Nicolau e São João Batista. Em função da distância entre os sítios e a Universidade Federal de Pelotas (UFPeL), os trabalhos de campo foram organizados de forma concentrada, compreendendo dois períodos de cinco dias úteis e um período de dez dias úteis. Cada momento respondeu a objetivos distintos, relacionados ao estágio de implantação do canteiro modelo: um primeiro momento voltado ao reconhecimento exploratório dos sítios e à capacitação da equipe da UFPeL; um segundo momento direcionado ao levantamento intensivo e à produção de documentação técnica de apoio ao planejamento das intervenções; e um terceiro momento articulado diretamente às ações formativas e às intervenções de consolidação realizadas em campo.

A produção de dados tridimensionais baseou-se prioritariamente na fotogrametria aérea e terrestre, empregadas de forma complementar. Os registros aéreos foram utilizados para a leitura volumétrica dos conjuntos arquitetônicos e de sua relação com o entorno, enquanto os registros terrestres permitiram maior detalhamento das superfícies verticais, das áreas sombreadas e de elementos construtivos específicos. A captura fotográfica seguiu procedimentos sistemáticos, com controle de sobreposição, variação de ângulos de tomada e adequação das escalas de registro às características de cada edificação, constituindo a base para a geração das nuvens de pontos e de produtos derivados, como vistas ortográficas, seções e modelos digitais de superfície.

Como procedimento complementar, introduziu-se a varredura a laser por tecnologia LiDAR, aplicada de forma experimental e dirigida a situações específicas em que se buscava maior precisão geométrica ou o registro de elementos singulares e de pequena escala. Essa tecnologia foi incorporada de maneira crítica, não como substituição da fotogrametria, mas como estratégia complementar, permitindo avaliar sua adequação às demandas do canteiro modelo e às atividades formativas associadas.

O processamento dos dados envolveu etapas de organização inicial dos arquivos, alinhamento das imagens e geração das nuvens de pontos. Sempre que possível, ainda durante os trabalhos de campo foram realizadas verificações preliminares de alinhamento e cobertura, por meio da geração de nuvens de pontos parciais, permitindo ajustes imediatos na estratégia de

captura. Partes destes modelos de nuvens de pontos foram convertidas em modelos de superfície, para serem texturizados, e em modelos digitais sólidos para serem fabricados como modelos físicos por meio de impressão 3D. Neste caso, a técnica empregada foi por deposição de material fundido (FDM), utilizando termoplástico ácido polilático (PLA), escolhido pela fidelidade em pequenas dimensões e pela facilidade de impressão com reduzida necessidade de acabamento posterior. Esses modelos físicos foram incorporados como recurso de apoio às atividades de leitura construtiva e de formação de artífices no canteiro.

A gestão do acervo digital foi tratada como uma etapa metodológica específica, em função do volume expressivo de arquivos gerados ao longo dos trabalhos de campo, incluindo dados brutos, arquivos intermediários de processamento e produtos. Para a sistematização e a mensuração desse acervo, foi desenvolvido um procedimento baseado na varredura automatizada de diretórios, capaz de identificar arquivos válidos a partir de suas extensões, percorrer pastas e subpastas correspondentes a cada momento de levantamento e eliminar duplicatas e arquivos estritamente associados ao processamento. De modo complementar, adotaram-se registros sistemáticos das jornadas de trabalho em campo e das atividades noturnas de descarregamento, organização e controle preliminar de qualidade dos dados, com o objetivo de permitir uma posterior estimativa do esforço de produção envolvido.

### Resultados e Discussão

Os resultados obtidos neste estudo decorrem diretamente da aplicação dos procedimentos descritos e de sua articulação com as ações do canteiro modelo de conservação. No primeiro momento de trabalho de campo, realizado entre 6 e 11 de outubro de 2024, os levantamentos estavam inicialmente previstos para abranger os quatro sítios missioneiros; entretanto, as condições climáticas adversas, com ocorrência de chuva intensa em aproximadamente 75% do período, limitaram a captura em algumas áreas, especialmente no que se refere à fotogrametria aérea.

Ainda assim, no sítio de São Miguel Arcanjo foi possível executar o levantamento completo da igreja e de seu entorno imediato, combinando fotogrametria aérea e terrestre. As nuvens de pontos geradas evidenciam a complementaridade entre as duas abordagens, conforme apresentado na Figura 4, em que a fotogrametria aérea (Figura 4A) favorece a leitura volumétrica geral do conjunto, enquanto a fotogrametria terrestre (Figura 4B) permite maior detalhamento das superfícies verticais e das áreas protegidas por sombras.

#### Figura 4

*Imagens dos modelos de nuvem de pontos da igreja de São Miguel Arcanjo geradas em outubro de 2024, (A) por fotogrametria aérea (B) por fotogrametria terrestre*



Fonte: Autores, 2024.

Do ponto de vista metodológico, esse primeiro conjunto de resultados teve papel decisivo no planejamento do canteiro modelo. A leitura espacial proporcionada pelas nuvens de pontos permitiu identificar áreas prioritárias para intervenção, reconhecer limitações de acesso e

estimar a complexidade das técnicas construtivas envolvidas, informações essenciais para a organização das atividades formativas. No entanto, esse momento também evidenciou fragilidades importantes, como a forte dependência das condições climáticas, com chuva intensa em grande parte do período, e a limitação do tempo disponível para ajustes de captura, o que impactou a cobertura completa de alguns setores dos sítios.

O segundo momento de trabalho de campo, realizado entre 5 e 10 de maio de 2025, concentrou-se na produção de documentação de maior densidade e precisão, com destaque para a adega do sítio de São Miguel Arcanjo. A nuvem de pontos gerada nessa etapa permitiu a extração de vistas ortográficas e seções utilizadas como base para a documentação técnica (Figura 5A), bem como a produção de um modelo digital sólido convertido em modelo físico por impressão 3D (Figura 5B). Esse modelo foi utilizado diretamente nas atividades formativas desenvolvidas em campo (Figura 5C), configurando um dos diferenciais do estudo: a utilização da documentação digital como instrumento pedagógico e de apoio à tomada de decisão antes da intervenção direta nos remanescentes.

### Figura 5

*Representações da Adega de São Miguel Arcanjo, (A) vistas ortográficas da nuvem de pontos; (B) Modelo físico em impressão 3D e correspondência com a imagem da vista superior; (C) utilização in loco do modelo*



Fonte: Autores, 2025.

A utilização do modelo físico permitiu discutir soluções de consolidação, sequências de trabalho e riscos associados às intervenções, reduzindo a necessidade de experimentação direta sobre a estrutura histórica. Como fragilidade, observa-se que a produção desses modelos exige tempo adicional de processamento e impressão, além de infraestrutura específica, o que pode limitar sua replicabilidade em contextos com menor suporte técnico. Ainda no segundo momento, os levantamentos foram ampliados para outros sítios, com ênfase no sítio de São João Batista. A geração de nuvens de pontos possibilitou a extração de modelos digitais de superfície e de terreno, com curvas de nível, ampliando a compreensão da relação entre implantação, topografia e drenagem do sítio. Esses resultados mostraram-se relevantes para discutir aspectos que extrapolam a escala da edificação, incorporando questões ambientais e de estabilidade diretamente relacionadas ao planejamento das ações do canteiro modelo.

O terceiro momento de trabalho de campo, realizado entre 09 e 19 de setembro de 2025, produziu resultados particularmente relevantes para a discussão metodológica. A realização de um novo levantamento fotogramétrico após as atividades formativas de consolidação na adega de São Miguel Arcanjo permitiu comparar estados pré e pós-intervenção, evidenciando diferenças geométricas associadas às ações realizadas. Esse resultado demonstra o potencial das nuvens de pontos como base para o acompanhamento técnico das transformações físicas dos remanescentes ao longo do tempo, reforçando a documentação digital como instrumento de monitoramento e não apenas de registro inicial.

Nesse terceiro momento, introduziu-se também a varredura a laser por tecnologia LiDAR, aplicada a elementos específicos, como o sistema de latrinas de São Lourenço Mártir, o relógio solar e pedras ornamentadas da igreja de São Miguel Arcanjo, bem como à unidade habitacional conhecida como “casinha” no sítio de São Nicolau (Figura 6).

**Figura 6**

(A) “Casinha” unidade habitacional construída com as rochas remanescentes das reduções. (B) modelo de nuvem de pontos 3D; (C) Seção horizontal da nuvem de pontos



Fonte: Autores, 2025.

Os modelos gerados por varredura a laser apresentaram maior regularidade geométrica em superfícies complexas e elementos de pequena escala, permitindo a produção de ortofotos e cortes em planta baixa utilizados para a identificação de patologias construtivas e para a compreensão dos sistemas estruturais. A comparação entre resultados obtidos por fotogrametria e por LiDAR indica que as tecnologias são complementares, devendo sua adoção ser orientada pelos objetivos específicos de documentação e pelas condições operacionais do canteiro.

Os quantitativos apresentados na Tabela 1 evidenciam a escala da produção documental realizada, com um total de 14.874 arquivos de imagem e dezenas de modelos digitais em diferentes formatos. Esses números refletem diretamente a intensidade do trabalho de campo e a diversidade de produtos gerados.

**Tabela 1**

*Quantitativos dos tipos de arquivos gerados nos levantamentos realizados.*

Extensão do arquivo	1º Momento 06 a 11/10/2024	2º Momento 05 a 10/05/2025	3º Momento 09 a 19/09/2025	Total
Imagem *.jpg	4907	3102	3897	11906
Imagem *.png	2785	63	8	2856
Nuvens *.e57	29	10	4	43
Modelo de superfície *.obj	5	2	0	7
Nuvem *.ply	1	0	0	1
Nuven *.bin	0	6	5	11
Imagem *.tif / .tiff	47	64	1	112

Fonte: Autores, 2025.

Os dados da Tabela 2 explicitam a carga de trabalho envolvida, totalizando, apenas para os períodos em campo, mais de mil horas de trabalho distribuídas entre os integrantes da equipe. Esses dados reforçam que a produção de documentação digital de alta resolução implica um investimento significativo de tempo e recursos humanos, constituindo uma fragilidade relevante quando se pensa na replicabilidade do método em contextos institucionais com equipes reduzidas.

Tabela 2

*Quantidades relativas ao número de pessoas e horas de trabalho in loco.*

Momento	Nº de Pessoas	Nº de Dias	h/dia	h/noite	h/pessoa	h/total
1	3	7	8	4	84	252
2	3	8	8	4	96	288
3	4	11	8	4	132	528
<b>GERAL</b>	<b>8</b>	<b>26</b>	<b>30</b>	<b>12</b>	<b>312</b>	<b>1068</b>

Fonte: Autores, 2025.

De forma transversal aos três momentos, os resultados evidenciam que o valor da documentação produzida não reside apenas na precisão geométrica dos modelos, mas na sua integração a um sistema de organização e gestão do acervo digital. A necessidade de desenvolver procedimentos específicos para catalogação, eliminação de duplicatas e rastreabilidade dos dados revelou-se condição indispensável para que os modelos pudessem ser efetivamente utilizados no planejamento das intervenções e nas atividades formativas do canteiro modelo. A ausência desse esforço de sistematização comprometeria a possibilidade de análises comparativas e o uso continuado da documentação ao longo do tempo.

A discussão dos resultados permite afirmar que o diferencial deste estudo está na articulação concreta entre produção de documentação digital, planejamento de intervenções e formação de artífices em um contexto real de conservação. Ao mesmo tempo, as fragilidades identificadas — dependência das condições climáticas, elevado tempo de processamento, necessidade de infraestrutura técnica e de formação especializada — indicam que a adoção dessas tecnologias exige estratégias institucionais de médio e longo prazo. Nesse sentido, os resultados reforçam a importância de compreender a documentação digital como um processo contínuo, integrado às práticas do canteiro modelo e às diretrizes do IPHAN, e não como um produto técnico isolado. Há que se destacar a demanda, ainda não contemplada, de disponibilizar a documentação resultante destes levantamentos realizados por nuvens de pontos, por meio dos códigos convencionais de desenho técnico, tal qual foram registradas as intervenções pelo corpo técnico do IPHAN em 2004, exemplificados na Figura 3. Trata-se de um processo em curso de compreensão dos limites e possibilidades de automação, envolvendo a continuidade do trabalho interdisciplinar.

### Considerações Finais

A produção de documentação sobre os quatro sítios missioneiros, por meio de técnicas de fotogrametria, escaneamento LiDAR e fabricação digital, se constitui como suporte técnico e pedagógico para o Projeto. Esta produção permitiu compor um acervo digital que subsidia análises comparativas entre os estágios pré e pós-intervenção relativa a trabalhos de consolidação e conservação dos remanescentes, além de apoiar a comunicação técnica entre pesquisadores, que manipulam e extraem informação do modelo digital, e artífices locais, que manipulam diretamente o modelo físico.

Até o momento, investiu-se essencialmente na produção e organização deste acervo. Os próximos passos incluem uma avaliação, sistematizada, sobre os impactos da inclusão das tecnologias digitais aqui mencionadas junto ao projeto e execução dos trabalhos de consolidação e conservação dos sítios, por toda a equipe envolvida. Caso os resultados desta avaliação justifiquem a incorporação como método de abordagem, há a expectativa de produzir um registro que possa ser compartilhado com os profissionais responsáveis para que possam dar continuidade aos registros, tendo em conta a necessidade de replicar os levantamentos ao longo do tempo. Compreende-se que se trata de um conhecimento específico e interdisciplinar, que envolve saberes do campo da ciência da computação, arquitetura e conservação do patrimônio.

A documentação, baseada na geração de nuvens de pontos de alta resolução e consequente disponibilização de modelos digitais, amplia as possibilidades de monitoramento das transformações físicas dos sítios e de construção de um repositório digital missionário voltado à pesquisa e à conservação.

### Agradecimentos

À equipe do Projeto Saberes das Missões: Canteiro Modelo de Conservação, e ao IPHAN, pelo apoio aos trabalhos de campo e à CAPES pelo apoio à pesquisa de doutorado, Projeto PAPAN/UFPel, com o estudo com nuvens de pontos. Aos colaboradores no levantamento fotogramétrico: Cintia Gruppelli da Silva, Samanta Quevedo da Silva, Josef Souza Silva, Dener Machado e Julia Lopes.

### Referências

- Custódio, L. A. (2002). *A redução de São Miguel Arcanjo: contribuição ao estudo da tipologia urbana missioneira* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Arquitetura, Porto Alegre, Brasil.
- Custódio, L. A. (2010). *Ordenamientos urbanos y arquitectónicos en el sistema reduccional jesuítico guaraní de la paracuaria: entre su normativa y su realización* (Tese de Doutorado). Universidade Pablo de Olavide, Sevilha, Espanha.
- Gabellone, F. (2022). Digital Twin: a new perspective for cultural heritage management and fruition. *Acta IMEKO*, 11(1), 1-7. [https://doi.org/10.21014/acta\\_imeko.v11i1.1085](https://doi.org/10.21014/acta_imeko.v11i1.1085)
- Hutson, J., Weber, J., & Russo, A. (2023). Digital twins and cultural heritage preservation: A case study of best practices and reproducibility in Chiesa dei SS apostoli e Biagio. *Art and Design Review*, 11(1), 15-41. <https://doi.org/10.4236/adr.2023.111003>
- Quattrini, R., Malinverni, E. S., Clini, P., Nespeca, R., & Orlietti, E. (2015). *From TLS to HBIM: high quality semantically-aware 3D modeling of complex Architecture*. <https://doi:10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-367-2015>
- Reiss, M. L. L., da Rocha, R. S., Ferraz, R. S., Cruz, V. C., Morador, L. Q., Yamawaki, M. K., Rodrigues, E. L. S., Cole, J. O., & Mezzomo, W. (2016). Data integration acquired from micro-uav and terrestrial laser scanner for the 3d mapping of Jesuit ruins of São Miguel Das Missões. *The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B5, 315-321. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xli-b5-315-2016>
- Rocha, I. A. M.; Danckwardt, V. (2000). Projeto Missões, Computação Gráfica Multimídia da Reconstituição Computadorizada da Redução de São Miguel Arcanjo no Rio Grande do Sul - Brasil. In *Anais do 4º Congresso Ibero-americano de Gráfica Digital - IV SIGRADI*. Rio de Janeiro, RJ.
- Stello, V. (2005). *Sítio Arqueológico de São Miguel Arcanjo: avaliação conceitual das intervenções* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.
- Stello, V. (2013). *Além das reduções: a paisagem cultural da região missioneira* (Tese de Doutorado), Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.