



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**JOSÉ ARTHUR FILGUEIRA FELIZARDO**

**FLUXO DE TRABALHO PARA O DESENVOLVIMENTO DE MODELOS BIM A  
PARTIR DE LEVANTAMENTOS TRIDIMENSIONAIS – ESTUDO DE CASO**

**JUAZEIRO DO NORTE**

**2026**

JOSÉ ARTHUR FILGUEIRA FELIZARDO

**FLUXO DE TRABALHO PARA O DESENVOLVIMENTO DE MODELOS BIM A  
PARTIR DE LEVANTAMENTOS TRIDIMENSIONAIS – ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal do Cariri, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Profa. Dra. Antonia Fabiana Marques Almeida

JUAZEIRO DO NORTE

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Cariri  
Sistema de Bibliotecas

---

F319f Felizardo, José Arthur Filgueira.

Fluxo de trabalho para o desenvolvimento de modelos BIM a partir de levantamentos tridimensionais: estudo de caso/ José Arthur Filgueira Felizardo. – 2026.  
45 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal do Cariri, Juazeiro do Norte, CE, 2026.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Antonia Fabiana Marques Almeida.

1. *Building Information Modeling* (BIM). 2. *Scan-to-BIM*. 3. Levantamento tridimensional.  
4. Nuvem de pontos. 5. Gerenciamento de ativos. I. Almeida, Antonia Fabiana Marques (Orient.).  
II. Universidade Federal do Cariri. III. Título.

CDD 624.10285

---

Bibliotecário: João Bosco Dumont do Nascimento – CRB 3/1355

**JOSÉ ARTHUR FILGUEIRA FELIZARDO**

**FLUXO DE TRABALHO PARA O DESENVOLVIMENTO DE MODELOS BIM A  
PARTIR DE LEVANTAMENTOS TRIDIMENSIONAIS – ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal do Cariri, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 26/08/2026.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Antonia Fabiana Marques Almeida (Orientadora)  
Universidade Federal do Cariri (UFCA)

---

Prof. Dr. Marcos José Timbó Lima Gomes  
Universidade Federal do Cariri (UFCA)

---

Profa. Dra. Deborah Macedo dos Santos  
Universidade Federal do Cariri (UFCA)

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal do Cariri (UFCA), e em especial a todo o corpo docente do curso de Engenharia Civil, por fornecerem a base acadêmica necessária para a minha formação e pela excelência no ensino que tornou esta trajetória possível.

Gostaria também de expressar minha sincera gratidão à empresa Buildgest, pela oportunidade e confiança no meu trabalho. A experiência prática e o conhecimento técnico que adquiri atuando como projetista foram fundamentais para a minha formação e forneceram uma base sólida para a compreensão dos processos desenvolvidos neste projeto.

Um agradecimento especial ao meu chefe, André Azevedo, pela liderança, companheirismo e pelo apoio constante. Agradeço por todas as orientações diárias e por incentivar meu crescimento profissional e acadêmico ao longo de toda esta jornada.

À minha orientadora, Prof.<sup>a</sup> Antônia Fabiana, expresso minha profunda gratidão pela excelente orientação, dedicação e paciência. Seus valiosos ensinamentos, correções e direcionamentos foram imprescindíveis para a estruturação e concretização deste trabalho sobre os fluxos de trabalho e modelagem BIM.

À banca avaliadora, pelo seu empenho em avaliar os atributos necessários para minha aprovação e me fornecer bons parâmetros para trabalhos científicos, de modo que eu possa sempre crescer rumo a novas pesquisas e desenvolvimentos acadêmicos.

## RESUMO

O setor da Engenharia Civil exige cada vez mais precisão e eficiência, especialmente na representação digital de edificações existentes. Nesse contexto, a integração da metodologia *Building Information Modeling* (BIM) com tecnologias de Levantamento Tridimensional (como o *Laser Scanning*) emerge como a solução *Scan-to-BIM*, importante para projetos de reforma, restauração e gestão de ativos (*Facility Management*). No entanto, a conversão direta da nuvem de pontos em elementos paramétricos BIM apresenta desafios significativos relacionados à interoperabilidade, tempo de processamento e garantia do Nível de Desenvolvimento (LoD) necessário. Este trabalho propôs e detalhou um fluxo de trabalho otimizado de *Scan-to-BIM* para minimizar gargalos e maximize a precisão do modelo final. Para tal, foi realizada uma revisão das metodologias de trabalho para mapear as melhores práticas e os *softwares* mais eficazes no processamento e modelagem. O fluxo proposto detalhou desde a aquisição dos dados em campo até a entrega do modelo BIM, fornecendo um guia prático e teoricamente embasado para profissionais da área. Espera-se que este estudo contribua para a padronização e o aumento da qualidade dos modelos BIM de edificações *as-built* no cenário mundial.

**Palavras-chave:** BIM; Scan-to-BIM; Levantamento Tridimensional; Nuvem de Pontos; Fluxo de Trabalho; Workflow; Gerenciamento de Ativos

## ABSTRACT

The Civil Engineering sector increasingly demands precision and efficiency, especially in the digital representation of existing buildings. In this context, the integration of Building Information Modeling (BIM) methodology with 3D Surveying technologies (such as Laser Scanning) emerges as the Scan-to-BIM solution, important for renovation, restoration, and asset management (Facility Management) projects. However, the direct conversion of point clouds into parametric BIM elements presents significant challenges related to interoperability, processing time, and ensuring the necessary Level of Development (LoD). This work proposed and detailed an optimized Scan-to-BIM workflow that minimizes bottlenecks and maximizes the accuracy of the final model. To this end, a review of work methodologies was carried out to map best practices and the most effective software in processing and modeling. The proposed workflow details everything from data acquisition in the field to the delivery of the BIM model, providing a practical and theoretically sound guide for professionals in the field. This study is expected to contribute to the standardization and improved quality of as-built BIM building models in the international context.

**Keywords:** BIM, Scan-to-BIM, Laser Scanning, Point Cloud, Workflow, Facility Management.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                       |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Figura 1: Representação Visual dos LoDs.....</b>                                   | <b>15</b> |
| <b>Figura 2: Vista de Satélite do edifício estudado .....</b>                         | <b>22</b> |
| <b>Figura 3: Planta do Piso 0 - Shopping LaVie .....</b>                              | <b>23</b> |
| <b>Figura 4: Vista 3D do Edifício Estudado .....</b>                                  | <b>24</b> |
| <b>Figura 5: Foto do drone utilizado para levantamento VANT.....</b>                  | <b>25</b> |
| <b>Figura 6: Scanner utilizado para o levantamento TLS.....</b>                       | <b>26</b> |
| <b>Figura 7: Fotografia visita interna Shopping LaVie .....</b>                       | <b>27</b> |
| <b>Figura 8: Alvo Ground Control Points .....</b>                                     | <b>29</b> |
| <b>Figura 9: Reunião de Alinhamento em Escritório .....</b>                           | <b>30</b> |
| <b>Figura 10: Levantamento topográfico do Shopping LaVie .....</b>                    | <b>33</b> |
| <b>Figura 11: Modelo 3D Sobreposto com PointCloud .....</b>                           | <b>34</b> |
| <b>Figura 12: Modelo Arquitetônico Final desenvolvido no Autodesk Revit.....</b>      | <b>36</b> |
| <b>Figura 13: Workflow Scan to BIM.....</b>                                           | <b>39</b> |
| <b>Figura 14: Section Box da geometria estrutural de uma região do edifício .....</b> | <b>40</b> |
| <b>Figura 15: Imagens do modelo final desenvolvido .....</b>                          | <b>41</b> |

## **LISTA DE TABELAS**

|                                                                           |           |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Tabela 1: Resumo dos tópicos abordados no referencial teórico.....</b> | <b>18</b> |
| <b>Tabela 2: Síntese dos trabalhos do Referencial Teórico .....</b>       | <b>21</b> |

## SUMÁRIO

|                                                                                       |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                                             | <b>10</b> |
| 1.1 Contextualização.....                                                             | 10        |
| 1.2 Justificativa .....                                                               | 11        |
| 1.3 Objetivos.....                                                                    | 11        |
| <b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>                                                    | <b>12</b> |
| 2.1 Captação da Realidade e Métodos de Levantamento 3D.....                           | 12        |
| 2.1.1 Levantamentos Terrestres: Estação Total e <i>Laser Scanning</i> (TLS) .....     | 12        |
| 2.1.2 Fotogrametria Aérea com VANT.....                                               | 12        |
| 2.1.3 A Abordagem Híbrida: Integração TLS e VANT .....                                | 13        |
| 2.2 O Fluxo <i>Scan-to-BIM</i> : Conceitos e Desafios .....                           | 13        |
| 2.2.1 Fluxos de Trabalho (Workflows) e Interoperabilidade .....                       | 13        |
| 2.2.2 O Desafio da Modelagem: Condição <i>As-Is</i> versus Parametrização Ideal ..... | 14        |
| 2.3 Estratégias de Automação da Modelagem Geométrica.....                             | 15        |
| 2.3.1 Extração Semântica e Reconhecimento de Padrões .....                            | 15        |
| 2.3.2 Programação Visual e Rotinas de Parametrização .....                            | 16        |
| 2.3.3 O Paradigma Semiautomático ( <i>Human-in-the-loop</i> ).....                    | 16        |
| 2.4 Aplicações Práticas do Fluxo <i>Scan-to-BIM</i> .....                             | 17        |
| 2.4.1 Patrimônio Histórico e Cultural (HBIM).....                                     | 17        |
| 2.4.2 Infraestruturas e Obras de Arte Especiais (OAE).....                            | 17        |
| 2.4.3 Digitalização de Edifícios Comerciais e de Grande Escala.....                   | 18        |
| <b>3 MÉTODO .....</b>                                                                 | <b>22</b> |
| 3.1 Caracterização do Objeto de Estudo .....                                          | 22        |
| 3.2 Equipamentos e Ferramentas Computacionais .....                                   | 24        |
| 3.2.1 Hardware de Captura .....                                                       | 25        |
| 3.2.2 Ferramentas Computacionais ( <i>Softwares</i> ) .....                           | 26        |
| 3.3 Planejamento e Aquisição de Dados .....                                           | 27        |
| 3.3.1 Planejamento do Voo e Captura Aérea (VANT) .....                                | 27        |
| 3.3.2 Mapeamento Terrestre a Laser (TLS) .....                                        | 28        |
| 3.3.3 Rede de Controle e Integração Espacial.....                                     | 29        |
| 3.4. Processamento, Registro e Unificação de Dados.....                               | 30        |
| 3.4.1 Processamento Fotogramétrico (VANT).....                                        | 31        |
| 3.4.2 Registro dos Varrimentos a Laser (TLS).....                                     | 31        |

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.4.3 Unificação de Dados e Limpeza de Ruído .....                                     | 31 |
| 3.4.4 Indexação e Exportação .....                                                     | 32 |
| 3.5. Modelagem Geométrica e Semântica ( <i>Scan-to-BIM</i> ) .....                     | 32 |
| 3.5.1 Preparação do Ambiente BIM e Parâmetros de Projeto .....                         | 32 |
| 3.5.2 Modelagem Manual Assistida e Extração de Geometria .....                         | 34 |
| 3.5.3 O Dilema do <i>As-Is</i> versus Parametrização Ideal .....                       | 35 |
| 4 RESULTADOS.....                                                                      | 37 |
| 4.1 Diretrizes Técnicas para Processamento e Redução de Ruído em Nuvens Híbridas ..... | 37 |
| 4.2 Aplicação do Diagrama de Fluxo de Trabalho <i>Scan-to-BIM</i> .....                | 38 |
| 4.3 Avaliação de Precisão: Condição <i>As-Is</i> vs. Modelo <i>As-Built</i> .....      | 39 |
| 5 CONCLUSÕES.....                                                                      | 42 |
| REFERÊNCIAS .....                                                                      | 43 |

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização

A indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção atravessa um período de profunda transformação digital. A necessidade de otimizar a gestão do ciclo de vida das edificações tem impulsionado a transição dos métodos tradicionais de representação bidimensional para a adoção da metodologia *Building Information Modeling* (BIM). No entanto, enquanto a aplicação do BIM em novos projetos já se encontra consolidada, a modelagem geométrica e semântica de edifícios existentes (*as-built*) continua a representar um desafio técnico e operacional significativo, dada a complexidade de transpor a realidade física para o ambiente paramétrico (Prokop, Nazarko, & Ziemiański, 2021).

Nesse cenário, a captura da realidade através de Levantamentos Tridimensionais surge como a solução mais precisa para a digitalização do ambiente construído. Tecnologias como o *Terrestrial Laser Scanning* (TLS) e a Fotogrametria com recurso a Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) permitem a obtenção de nuvens de pontos (*point clouds*) com elevado nível de detalhe. A integração destes dados com a metodologia BIM dá origem ao processo conhecido como *Scan-to-BIM*. Embora promissor, esse processo é frequentemente caracterizado por etapas manuais suscetíveis a erros de interpretação, exigindo fluxos de trabalho estruturados para garantir a fidelidade do modelo final (Rocha, 2024). Estudos recentes demonstram que a combinação de dados aéreos (VANT) para coberturas e dados terrestres (TLS) para fachadas e interiores é a estratégia mais eficaz para a documentação completa de estruturas complexas (Andaru et al., 2019).

Apesar da evolução das ferramentas de captura, a conversão de nuvens de pontos densas e não estruturadas em modelos BIM paramétricos ainda enfrenta "gargalos" críticos de produtividade e processamento (Thomson & Boehm, 2014). A dificuldade agrava-se em edifícios de grande porte, onde a unificação de dados provenientes de diferentes sensores gera arquivos de elevada densidade, o que sobrecarrega o processamento computacional e dificulta a interoperabilidade entre *softwares*.

Diante desse contexto, este trabalho procura responder à seguinte questão central: Qual o fluxo de trabalho mais eficiente para a consolidação de dados de levantamentos mistos (TLS e Fotogrametria) e subsequente modelagem geométrica (*Scan-to-BIM*), de modo a garantir o Nível de Desenvolvimento (*Level of Development* - LoD) exigido sem comprometer a viabilidade computacional em edificações de grande escala?

## 1.2 Justificativa

A justificativa deste trabalho assenta na necessidade premente do mercado da construção civil em padronizar a engenharia reversa de edifícios existentes. A restauração, a reabilitação estrutural e o *Facility Management* dependem de modelos *as-built* rigorosos para mitigar erros de planejamento e evitar desvios orçamentais. Em Portugal, essa necessidade é reforçada pela estratégia de implementação do BIM e pelas diretivas europeias que visam a digitalização do setor público. A Portaria n.º 2/2021 e as metas de implementação gradual do BIM em contratação pública (conforme o previsto no Código dos Contratos Públicos) impõem aos profissionais a adoção de processos digitais auditáveis e precisos.

A escolha do edifício comercial Shopping La Vie (Porto, Portugal) como objeto de estudo eleva a relevância deste trabalho. A sua geometria complexa e a vasta área de aproximadamente 30.000 m<sup>2</sup> representam um cenário de teste rigoroso para as tecnologias atuais. Demonstrar a interoperabilidade da integração entre a fotogrametria aérea e o *laser scanning* terrestre, aliada a um fluxo de modelagem coordenado entre o Autodesk ReCap e o Revit, permitirá a aplicação de uma metodologia replicável, fornecendo um referencial técnico para a academia e para profissionais que lidam com a digitalização de infraestruturas de grande dimensão.

## 1.3 Objetivos

Propor e detalhar um fluxo de trabalho otimizado de *Scan-to-BIM*, integrando dados de fotogrametria aérea (VANT) e *Laser Scanning* terrestre, visando a modelagem geométrica precisa da arquitetura e estrutura de edifícios de grande complexidade e dimensão. Para que o objetivo geral seja atendido, foram delineados os seguintes objetivos específicos:

- Estabelecer diretrizes técnicas para o processamento, unificação e redução de ruído (*noise reduction*) de nuvens de pontos massivas de fontes híbridas;
- Desenvolver um diagrama de fluxo de trabalho (*workflow*) detalhando as etapas desde a importação da nuvem de pontos até à modelagem de elementos paramétricos (*As-Is*);
- Aplicar o fluxo de trabalho proposto no Estudo de Caso do edifício comercial Shopping La Vie, avaliando a precisão do modelo final (*As-Built*) em relação aos dados de captura.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Captação da Realidade e Métodos de Levantamento 3D

A necessidade de representar fielmente o ambiente construído (*As-Is*) exige o uso de equipamentos capazes de coletar dados espaciais com precisão, rapidez e viabilidade econômica. Nesse contexto, destacam-se os levantamentos realizados por Estação Total, *Terrestrial Laser Scanning* (TLS) e Fotogrametria com Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT).

#### 2.1.1 Levantamentos Terrestres: Estação Total e *Laser Scanning* (TLS)

A topografia convencional, historicamente ancorada no uso da Estação Total, é amplamente reconhecida pela sua elevada precisão e confiabilidade. Em análises comparativas de levantamentos planialtimétricos, a Estação Total demonstra resultados que se aproximam estritamente da medida real, sendo a escolha predominante para locação de obras e medições de alta exigência milimétrica (Cruz & Perin, 2022). No entanto, esse método apresenta como desvantagem o elevado tempo necessário para a coleta de dados em campo, uma vez que a medição é feita ponto a ponto através da intervenção direta do operador.

A evolução direta desse conceito terrestre para a captura massiva de dados é o TLS. O TLS emite pulsos de *laser* para medir a distância até aos objetos, gerando nuvens de pontos tridimensionais densas em poucos minutos. Apesar da sua eficácia na documentação de fachadas, interiores geométricos e elementos estruturais detalhados, o TLS possui limitações físicas conhecidas. O varrimento terrestre enfrenta dificuldades no levantamento de coberturas de edifícios altos ou áreas com oclusões severas, resultando em "sombras" ou lacunas na nuvem de pontos final (Andaru et al., 2019).

#### 2.1.2 Fotogrametria Aérea com VANT

Para contornar as limitações de acesso e acelerar o processo de coleta de dados, a fotogrametria com VANT (drones) popularizou-se na construção civil. Essa técnica consiste na sobreposição de fotografias aéreas que, através de algoritmos de *Structure from Motion* (SfM), são processadas para gerar nuvens de pontos tridimensionais, malhas e ortomosaicos.

A utilização de aeronaves modernas de uso civil e comercial, como a série DJI Mavic 3, democratizou o acesso a levantamentos de grandes áreas. O levantamento por drone exige um menor investimento inicial em mão de obra e reduz o tempo de operação em campo quando comparado à Estação Total (Cruz & Perin, 2022). Em contrapartida, o esforço computacional e

o tempo de processamento em escritório são significativamente maiores. Adicionalmente, enquanto a fotogrametria aérea é excepcional para capturar coberturas e a volumetria geral do terreno, a sua precisão em fachadas verticais complexas ou em ambientes internos (onde o sinal GPS é inexistente) é limitada.

### **2.1.3 A Abordagem Híbrida: Integração TLS e VANT**

Diante das forças e fraquezas inerentes a cada equipamento, a literatura recente aponta a integração de dados terrestres e aéreos como a solução definitiva para a digitalização de infraestruturas complexas. A combinação da fotogrametria por VANT com o TLS descreve as falhas que cada método apresenta individualmente.

O scanner terrestre garante o rigor milimétrico ao nível do solo, interiores e fachadas, enquanto o drone fornece a geometria completa do telhado e do entorno do edifício (Andaru et al., 2019). A fusão destas duas nuvens de pontos, geralmente realizada através de pontos de controle homólogos ou algoritmos de aproximação iterativa (*Iterative Closest Point* - ICP), resulta num modelo 3D contínuo, denso e isento de zonas cegas, estabelecendo a base ideal para o subsequente fluxo de trabalho de modelagem paramétrica.

## **2.2 O Fluxo *Scan-to-BIM*: Conceitos e Desafios**

O processo de transposição de dados espaciais brutos, obtidos através de levantamentos tridimensionais, para um ambiente de modelagem paramétrica rica em informação é definido na literatura como *Scan-to-BIM*. Esse paradigma não se limita à mera recriação visual da geometria existente, mas envolve a atribuição de propriedades semânticas aos elementos arquitetônicos e estruturais, transformando uma nuvem de pontos inerte em um modelo inteligente e gerível (Rocha, 2024).

Embora o conceito seja amplamente difundido, a sua aplicação prática, especialmente em edifícios de grande porte, esbarra em desafios operacionais e limitações das ferramentas computacionais atuais.

### **2.2.1 Fluxos de Trabalho (Workflows) e Interoperabilidade**

O fluxo de trabalho *Scan-to-BIM* desenvolve-se, em regra, em três macro fases sequenciais: a aquisição de dados, o pré-processamento e a modelagem geométrica. Após a coleta dos dados em campo, as nuvens de pontos requerem um tratamento inicial rigoroso, que

engloba a limpeza de ruídos, a filtragem e o registro (unificação) das diferentes estações de varrimento e percursos de voo (Voříšek et al., 2021).

Nessa etapa de transição, *softwares* de indexação e tratamento, como o Autodesk ReCap, desempenham um papel importante. Essas plataformas são responsáveis por otimizar a volumosa quantidade de dados (arquivos massivos gerados pela fusão de TLS e fotogrametria) e convertê-los em formatos interoperáveis que possam ser manipulados dentro de *softwares* de autoria BIM, como o Autodesk Revit. Contudo, apesar da indexação eficiente, a modelagem geométrica no *software* de destino continua a ser uma tarefa predominantemente manual. O modelador insere a nuvem de pontos referenciada como um "gabarito" tridimensional e interpreta visualmente os dados para traçar os elementos paramétricos (Thomson & Boehm, 2014), um processo moroso e suscetível a erros de subjetividade humana.

### 2.2.2 O Desafio da Modelagem: Condição *As-Is* versus Parametrização Ideal

Um dos principais obstáculos documentados na literatura sobre o *Scan-to-BIM* reside na dicotomia entre a realidade física capturada e a lógica operacional das plataformas BIM. A nuvem de pontos reflete a condição exata do edifício no momento do levantamento (*As-Is*), registrando anomalias, deformações estruturais, desaprumos e imperfeições construtivas acumuladas ao longo do ciclo de vida da edificação (Tommasi, Achille, & Fassi, 2016).

Em contraste, as ferramentas de modelagem paramétrica (como o Revit) foram concebidas primordialmente para o planejamento de novas construções, operando com geometrias ideais, ortogonalidade estrita e componentes padronizados. Quando o profissional tenta ajustar famílias paramétricas rígidas a uma nuvem de pontos que apresenta irregularidades do mundo real, estabelece-se um dilema técnico. O modelador vê-se forçado a decidir entre:

- Modelagem Padronizada: Assumir elementos perfeitamente verticais e ortogonais, sacrificando a fidelidade geométrica da condição real (*As-Is*).
- Modelagem Complexa (*Model In-Place*): Recriar as imperfeições exatas utilizando massas ou elementos modelados no local, o que preserva a precisão, mas aumenta o peso do arquivo computacional, a dificuldade de parametrização e o tempo de desenvolvimento (Rocha, 2024).

Encontrar o equilíbrio ideal entre o LoD, o Nível de Precisão (*Level of Accuracy* - LoA) e a viabilidade do processamento computacional é o desafio central na modelagem de

edificações preexistentes. Exige-se, assim, a definição prévia de tolerâncias geométricas aceitáveis para garantir que o modelo *as-built* seja útil e manipulável, sem sobrecarregar o hardware disponível. A representação visual dos LoD está apresentada na Figura 1. Para o trabalho em questão, os LoDs utilizados foram variados, conforme a região modelada, de acordo com as necessidades do cliente para futuras documentações.

Figura 1: Representação Visual dos LoDs



Fonte: <https://biblus.accasoftware.com/>

## 2.3 Estratégias de Automação da Modelagem Geométrica

Como exposto anteriormente, o processo tradicional de *Scan-to-BIM* depende da intervenção humana para interpretar visualmente a nuvem de pontos e traçar as geometrias no *software* BIM. Contudo, em edifícios de grande escala e elevada complexidade arquitetônica, a modelagem puramente manual torna-se economicamente inviável e propensa a omissões. Para mitigar esta ineficiência, a comunidade científica e a indústria têm concentrado esforços no desenvolvimento de estratégias de automatização, procurando reduzir a carga de trabalho do operador e aumentar a precisão do modelo final (Thomson & Boehm, 2014). O estado da arte na automatização da modelagem *Scan-to-BIM* divide-se, fundamentalmente, em duas abordagens complementares: a extração semântica baseada em algoritmos e a utilização de rotinas de programação visual.

### 2.3.1 Extração Semântica e Reconhecimento de Padrões

Uma nuvem de pontos não estruturada é essencialmente um conjunto massivo de coordenadas cartesianas (X, Y, Z) acompanhadas, por vezes, de valores de intensidade ou cor (RGB), desprovidas de qualquer inteligência ou hierarquia construtiva. O desafio da extração

semântica consiste em aplicar algoritmos matemáticos para identificar padrões geométricos nestes dados em bruto, agrupando pontos que partilham características coplanares ou cilíndricas.

Trabalhos recentes, como o desenvolvido por (Voříšek et al., 2021), propõem bibliotecas computacionais (como a PointCloud2BIM) desenhadas para a detecção automatizada de entidades fundamentais da construção. Através de algoritmos de segmentação e crescimento de regiões (*Region Growing*), torna-se possível identificar automaticamente o piso, o teto, as paredes e até as respectivas aberturas (portas e janelas). Esses algoritmos avaliam a densidade e a normalização das superfícies, isolando os planos principais e inferindo as relações topológicas entre eles. O resultado é a geração de formas primitivas ou caixas delimitadoras (*bounding boxes*) que servem de base direta para a criação das famílias no modelo BIM.

### 2.3.2 Programação Visual e Rotinas de Parametrização

Enquanto o reconhecimento de padrões atua muitas vezes em *softwares* de pré-processamento, a inserção inteligente das geometrias no ambiente BIM é frequentemente resolvida através de ferramentas de programação visual (VPL - *Visual Programming Language*), como o Dynamo para Autodesk Revit ou o Grasshopper para Rhinoceros.

O desenvolvimento de algoritmos (ou *scripts*) customizados permite criar pontes de interoperabilidade avançadas. Através da programação visual, é possível instruir o *software* BIM a ler as coordenadas vetoriais extraídas da nuvem de pontos e, de forma autônoma, instanciar elementos nativos (como vigas, pilares ou tubagens) (Rocha, 2024). Para além disso, estas rotinas permitem automatizar o ajuste dimensional: o *script* pode medir a espessura de uma parede na nuvem de pontos e ajustar automaticamente o parâmetro da família de parede no Revit para corresponder exatamente à condição *As-Is*.

### 2.3.3 O Paradigma Semiautomático (*Human-in-the-loop*)

Apesar dos avanços significativos, a literatura é unânime em afirmar que a automatização total (*Full Automation*) na reconstrução BIM ainda é um objetivo distante. A oclusão de dados (zonas não capturadas pelo *laser* ou pelo drone), o excesso de ruído proveniente de mobiliário ou vegetação, e a presença de geometrias irregulares ou históricas dificultam a precisão dos algoritmos (Thomson & Boehm, 2014).

Por conseguinte, a estratégia mais eficaz para a indústria atual é a modelagem semiautomática. Nesse fluxo de trabalho estruturado, os algoritmos executam as tarefas repetitivas e de elevado processamento (como a detecção de planos e a modelagem em massa

de paredes ortogonais e sistemas estruturais padrão), enquanto o operador humano assume um papel de supervisão, validação e resolução de conflitos em áreas complexas. É esta sinergia entre o poder computacional e o discernimento humano que viabiliza a criação rigorosa de modelos de grandes infraestruturas, garantindo a fidelidade ao levantamento tridimensional sem comprometer os prazos do projeto.

## **2.4 Aplicações Práticas do Fluxo *Scan-to-BIM***

A implementação prática do fluxo *Scan-to-BIM* tem-se expandido por diversos setores da Arquitetura, Engenharia e Construção, provando ser uma ferramenta indispensável para a gestão do ciclo de vida das edificações. Na literatura científica, os estudos de caso tendem a explorar as metodologias de captura e modelagem em cenários que levam as ferramentas computacionais e analíticas ao limite da sua capacidade, destacando-se a sua aplicação no patrimônio histórico, em infraestruturas complexas e em edificações de grande escala.

### **2.4.1 Patrimônio Histórico e Cultural (HBIM)**

A digitalização de edifícios históricos (*Heritage BIM* - HBIM) representa um dos maiores desafios geométricos da modelagem *As-Is*. Conforme documentado por (Tommasi, Achille, & Fassi, 2016), as construções históricas não possuem a ortogonalidade, a prumada ou a padronização dos sistemas construtivos contemporâneos. A presença de paredes irregulares, abóbadas e ornamentos exige um elevado LoD para a correta preservação digital. Nesses cenários, a metodologia *Scan-to-BIM* revela-se fundamental, uma vez que a nuvem de pontos atua como um registro tridimensional inegável da condição física atual, permitindo a criação de bibliotecas de famílias paramétricas que respeitem as singularidades de cada elemento arquitetônico (Prokop, Nazarko, & Ziemiański, 2021).

### **2.4.2 Infraestruturas e Obras de Arte Especiais (OAE)**

No domínio da engenharia de infraestruturas, particularmente em Obras de Arte Especiais como pontes e viadutos, a reconstrução semântica baseada em nuvens de pontos assume um papel importante na inspeção e manutenção estrutural. (Borges, et al., 2023) salientam que a elaboração de modelos *as-built* dessas estruturas através do cruzamento de tecnologias (como varrimento a *laser* e drones) fornece uma base de dados precisa para a detecção de patologias, desgaste de materiais e deformações. O modelo BIM resultante, quando

enriquecido com informações técnicas e relatórios de vistoria, converte-se numa plataforma centralizada de *Facility Management*, auxiliando o planejamento de intervenções e mitigando o risco de falhas catastróficas.

2.4.3 Digitalização de Edifícios Comerciais e de Grande Escala

A transposição dessas metodologias rigorosas para edificações civis de grande porte — como centros comerciais e vastas infraestruturas de retalho urbano — unifica as exigências das áreas anteriores: a alta complexidade geométrica e a necessidade de gestão rigorosa de múltiplos ativos.

Edifícios com áreas construídas de dezenas de milhares de metros quadrados abrigam rotas de circulação complexas e intrincados sistemas de especialidades (mecânica, elétrica, hidráulica e climatização). A literatura demonstra que tentar modelar estas megaestruturas baseando-se apenas em levantamentos 2D obsoletos resulta em incompatibilidades severas. A aplicação de um fluxo *Scan-to-BIM* híbrido (conjugando VANT para as vastas coberturas e TLS para a arquitetura interna) é uma abordagem capaz de consolidar com exatidão volumétrica um ambiente tão complexo. Essa consolidação estabelece um referencial técnico que viabiliza não só o retrofit estrutural e arquitetônico, mas também a gestão eficiente a longo prazo, provando que fluxos de trabalho adequadamente estruturados são capazes de suportar a engenharia reversa nas mais exigentes escalas da construção civil.

Para finalizar o referencial teórico, a Tabela 1 apresenta as informações dos tópicos do presente referencial teórico, de modo a recapitular os conceitos gerais apresentados.

Tabela 1: Resumo dos tópicos abordados no referencial teórico

| Subtópico                           | Tema Central                                                    | Conceitos e Ferramentas Principais                                                                                                                                           | Desafios e Limitações                                                                                                                          |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2.1. Tecnologias de Levantamento 3D | Métodos de captura da realidade física para o ambiente digital. | Estação Total: Alta precisão pontual.<br>TLS: Alta densidade, captação terrestre. VANT (Drone):<br>Fotogrametria aérea (coberturas).<br>Abordagem Híbrida: Fusão TLS + VANT. | TLS apresenta "sombras" e falha em coberturas. VANT possui baixa precisão em interiores sem GPS e exige alto processamento.                    |
| 2.2. Fluxo Scan-to-BIM              | Conversão de nuvens de pontos em modelos paramétricos.          | Fluxo: Aquisição → Pré-processamento (ReCap) → Modelagem (Revit). Semântica: Atribuição de dados aos elementos geométricos.                                                  | Dicotomia entre modelar as imperfeições da realidade (As-Is) vs. utilizar a ortogonalidade ideal das famílias paramétricas. Arquivos massivos. |
| 2.3.                                | Transição do                                                    | Extração Semântica: Reconhecimento                                                                                                                                           | A automatização total (Full                                                                                                                    |

| Subtópico                         | Tema Central                                               | Conceitos e Ferramentas Principais                                                                                                                 | Desafios e Limitações                                                                                             |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Automatização da Modelagem</b> | trabalho manual para rotinas algorítmicas.                 | de padrões (PointCloud2BIM). Programação Visual: Scripts de parametrização (Dynamo). Semiautomatização: Human-in-the-loop.                         | Automation) ainda é inviável devido a ruídos, vegetação e oclusões de dados. Exige validação e supervisão humana. |
| <b>2.4. Aplicações Práticas</b>   | Aplicação da metodologia em cenários de alta complexidade. | HBIM: Patrimônio histórico e preservação. OAE: Pontes, viadutos e inspeção estrutural. Megaestruturas: Edifícios comerciais (ex: Shopping La Vie). | Exigência de elevado LoD para geometrias irregulares.                                                             |

Fonte: Autor (2026).

(Andaru et al., 2019) apresentam uma metodologia para a documentação digital 3D do patrimônio arquitetônico, destacando que o uso isolado do *Terrestrial Laser Scanning* (TLS) é insuficiente, uma vez que o equipamento apresenta limitações para capturar o telhado de edifícios altos. A solução abordada é a integração do *laser* terrestre com a fotogrametria aérea (VANT/UAV), cujas nuvens de pontos são unificadas utilizando algoritmos (como o ICP) para garantir a geração de um modelo completo, isento de oclusões e adequado para visualizações iterativas.

De modo complementar, a pesquisa do Thomson & Boehm (2014) investiga o gargalo do fluxo de trabalho *Scan-to-BIM* em ambientes internos, ressaltando que a captura e a modelagem ainda exigem um grande esforço de tempo por parte do operador. Para mitigar o trabalho manual, os autores testam ferramentas comerciais que utilizam abordagens semiautomáticas para o traçado de paredes. Conclui-se que as soluções semiautomáticas atuais alcançam tolerâncias muito próximas das adotadas pela indústria, sendo o caminho mais prático devido à dificuldade histórica de alcançar a automação total.

O estudo do Voříšek et al., (2021) foca na limitação inerente dos dados brutos: embora as nuvens de pontos possam ser diretamente renderizadas e inspecionadas, elas não possuem informações semânticas. Para resolver o problema do traçado puramente manual de plantas, foi proposta a biblioteca computacional PointCloud2BIM, que aplica algoritmos apoiados por um grau razoável de interação humana (como a definição prévia da espessura da parede pelo operador) para extrair e classificar automaticamente pisos, paredes, salas e aberturas.

Através do estudo de caso da Capela de São Huberto (Prokop, Nazarko, & Ziemiański, 2021), o artigo ilustra o uso da digitalização a *laser* em patrimônio histórico (HBIM). O documento destaca o desafio metodológico de transpor geometrias arquitetônicas

irregulares para *softwares* de base ortogonal paramétrica (como o Revit), o que frequentemente obriga o profissional a recorrer à modelagem de sólidos. Para além do aspecto arquitetônico, o modelo geométrico resultante provou ser viável para exportação para o *software* ANSYS, onde foi utilizado como base para cálculos estruturais rigorosos por Elementos Finitos (FEM).

O trabalho do Tommasi, Achille, & Fassi (2016) aprofunda o dilema central do HBIM, afirmando que já não é suficiente construir um modelo mudo de um monumento histórico, sendo obrigatório que o modelo seja capaz de armazenar ricas informações técnicas e semânticas. O grande desafio apontado é tentar utilizar ferramentas criadas para construções padronizadas na recriação de condições físicas não padronizadas (com deformações, desaprumos e abóbadas irregulares), forçando o estabelecimento de fluxos de trabalho minuciosos compostos por fases de desconstrução das nuvens e reconstrução geométrica.

O resultado da análise do Cruz & Perin (2022) atesta que, enquanto a estação total apresenta elevada exigência de tempo para a operação humana no terreno, o drone reduz o tempo de captura e os custos operacionais, mas inverte o peso da carga de trabalho para as longas horas de processamento computacional no escritório.

Borges et al., (2023) focaram na aplicação em infraestruturas viárias, demonstrando o fluxo *Scan-to-BIM* na digitalização de um viaduto de concreto utilizando a integração de um drone DJI Matrice com um *laser scanner*. Os autores apontam que a interoperabilidade do ambiente BIM nas obras de infraestrutura ainda é defasada, porquanto o esquema de dados nativo (IFC) não comporta de forma íntegra informações exclusivas de pontes, exigindo que geometrias complexas — como o aclave do tabuleiro e as patologias existentes — sejam modeladas manualmente através de massas e componentes padronizados de forma adaptada.

Rocha (2024) avaliou a atual ineficiência técnica do processo *Scan-to-BIM*, diagnosticando que a reconstrução de modelos paramétricos baseados em nuvens de pontos ainda é majoritariamente manual, investindo considerável tempo e recursos do especialista. A investigação propõe e testa com sucesso rotinas de programação visual baseadas no Dynamo, desenvolvendo *scripts* computacionais que extraem diretamente as dimensões da nuvem e instanciam de maneira autônoma e semiautomática paredes, vigas, tubulações e pisos no Revit. A Tabela 2 apresenta uma síntese dos trabalhos mencionados.

Tabela 2: Síntese dos trabalhos do Referencial Teórico

| Arquivo /Autores (Ano)               | Título / Tema Principal                                                 | Tecnologias / Métodos Abordados                                          | Principal Contribuição / Conclusões                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1. Andaru et al. (2019)</b>       | A combinação de Lidar Terrestre e Fotogrametria VANT                    | Lidar Terrestre (TLS) e Fotogrametria com Drone (UAV)                    | Demonstra que a abordagem híbrida resolve as limitações de cada equipamento (o TLS falha em coberturas e o VANT em fachadas complexas), criando nuvens de pontos mais completas para o patrimônio arquitetônico.         |
| <b>2. Thomson &amp; Boehm (2014)</b> | Benchmark de modelagem de interiores para extração geométrica           | Nuvem de Pontos, <i>Scan-to-BIM</i> , Automação                          | Aborda os desafios de tempo e custo da modelagem manual de interiores. Discute como a automação pode reduzir a carga de trabalho, destacando a necessidade de métricas (benchmarks) para avaliar algoritmos de extração. |
| <b>3. Voříšek et al. (2021)</b>      | Reconstrução automatizada de entidades BIM a partir de nuvens de pontos | Algoritmos de segmentação, Extração Semântica ( <i>PointCloud2BIM</i> )  | Apresenta o desenvolvimento de rotinas computacionais para detecção semiautomática de entidades construtivas básicas (pisos, paredes, portas), acelerando o processo Scan-to-BIM.                                        |
| <b>4. Prokop et al. (2021)</b>       | Digitalização de edifícios históricos usando ferramentas modernas       | <i>Laser Scanning</i> , Criação de Modelos 3D/CAD                        | Valida a viabilidade do uso de captura de realidade avançada para registrar as condições precisas de edificações históricas, servindo de base para o gerenciamento e restauração.                                        |
| <b>5. Tommasi et al. (2016)</b>      | Da Nuvem de Pontos ao BIM: Desafio no campo do Patrimônio Cultural      | <i>Scan-to-BIM</i> , HBIM ( <i>Heritage BIM</i> ), Modelagem Paramétrica | Foca no desafio de transpor geometrias reais irregulares (As-Is) para um <i>software</i> BIM paramétrico de geometrias ideais, buscando o equilíbrio entre precisão geométrica e peso computacional.                     |
| <b>6. Cruz &amp; Perin (2022)</b>    | Topografia na Construção Civil: Estação Total vs. Drone                 | Estação Total, VANT (Drone)                                              | Conclui que a Estação Total oferece altíssima precisão pontual (mas exige mais tempo em campo), enquanto o Drone reduz custos e tempo de coleta, gerando maior demanda de processamento em escritório.                   |
| <b>7. Borges et al. (2023)</b>       | Modelagem As-Built de Obras de Artes Especiais em BIM                   | <i>Laser Scanning</i> , Modelagem de Infraestruturas (Pontes)            | Mostra a aplicação do Scan-to-BIM em infraestruturas civis complexas, gerando modelos precisos que auxiliam na gestão de ativos (Facility Management) e na identificação de patologias.                                  |
| <b>8. Rocha (2024)</b>               | Scan-to-BIM - Estratégias de Automatização da Modelagem Geométrica      | Programação Visual (Dynamo, Revit), Algoritmos Customizados              | Demonstra o uso de programação visual e algoritmos (scripts) para automatizar a leitura de nuvens de pontos e a inserção paramétrica de elementos geométricos complexos no modelo BIM.                                   |

Fonte: Autor (2026).

### 3 MÉTODO

Este trabalho caracteriza-se como um estudo de caso de natureza aplicada, com o objetivo de testar e aplicar um fluxo de trabalho *Scan-to-BIM* em um cenário de elevada complexidade geométrica e dimensional. Para garantir a reprodutibilidade e o rigor científico, o método foi estruturado em quatro fases principais: (1) Definição do objeto de estudo e recursos; (2) Planejamento e aquisição de dados; (3) Processamento e indexação da nuvem de pontos; e (4) Modelagem paramétrica em ambiente BIM.

#### 3.1 Caracterização do Objeto de Estudo

O objeto de estudo selecionado para a aplicação do fluxo de trabalho *Scan-to-BIM* proposto neste trabalho é o edifício comercial Shopping La Vie, localizado em Porto, Portugal. O edifício está apresentado na Figura 2, com uma área de intervenção de aproximadamente 30.000 m<sup>2</sup>, destacando-se pela sua vasta área ocupacional.

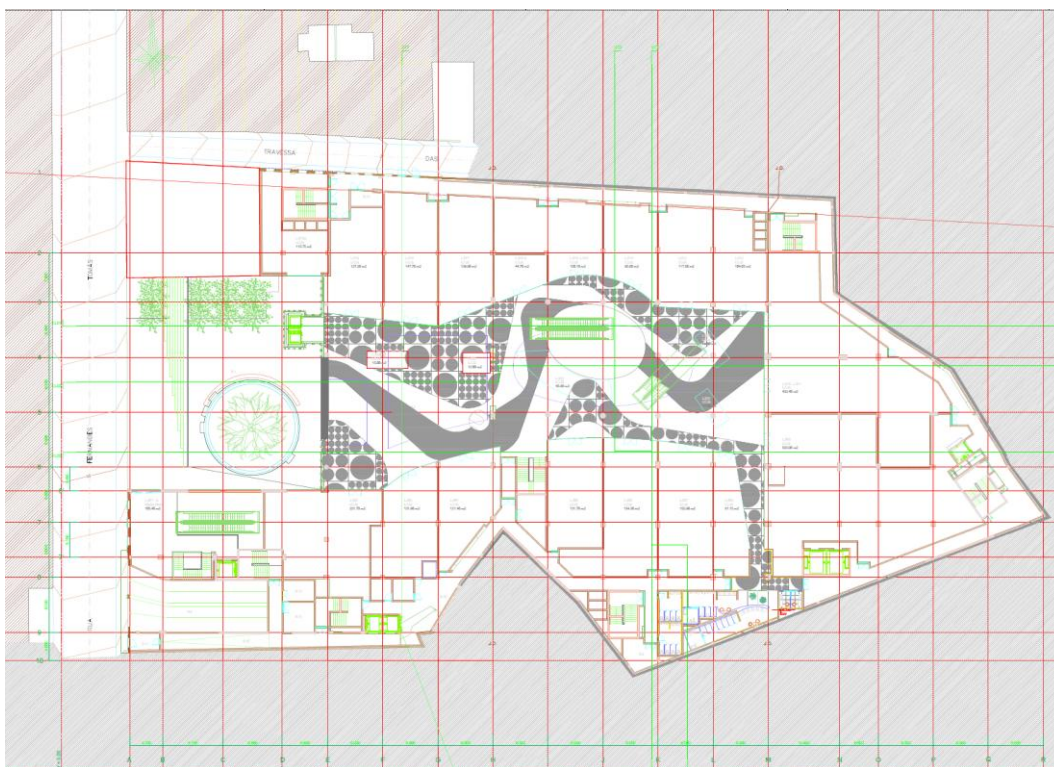
Figura 2: Vista de Satélite do edifício estudado



Fonte: Adaptado de Google Maps (2026).

A Figura 3 apresenta a planta de piso do térreo do edifício, produzida pela empresa de engenharia PerForma em 2007, sendo necessariamente a primeira a desenvolver uma ideia de como seriam distribuídas e arquitetadas as salas comerciais do shopping.

Figura 3: Planta do Piso 0 - Shopping LaVie



Fonte: Telas Finais de Arquitetura PerForma 2007.

Arquitetonicamente, o complexo comercial apresenta um conjunto de características que impõem desafios rigorosos à digitalização tridimensional. A estrutura engloba extensas fachadas envidraçadas e superfícies refletoras — que historicamente representam obstáculos técnicos para a correta refração dos feixes de laser —, áreas de circulação interna intrincadas, múltiplos pavimentos interligados por átrios centrais e uma cobertura de geometria irregular. Adicionalmente, a natureza operacional do edifício implica a presença constante de elementos geradores de oclusão e ruído nos dados, tais como mobiliário diversificado, infraestruturas expostas de climatização e iluminação, além do natural circulação humana.

A escolha desse edifício justifica-se, portanto, pela sua capacidade de representar um cenário real de elevada exigência técnica na Engenharia Civil. A modelagem de um ativo físico com estas proporções e particularidades geométricas inviabiliza a eficácia dos métodos de levantamento topográfico convencionais ou a adoção isolada de uma única tecnologia de captura. O Shopping La Vie configura o ambiente prático ideal para testar a exequibilidade da

abordagem de captura híbrida, exigindo o rigor milimétrico do varrimento a laser terrestre para mapeamento dos espaços comerciais e corredores internos, em simultâneo com a agilidade e alcance da fotogrametria aérea para o registro completo da volumetria externa e das coberturas.

A Figura 4 corresponde a uma vista 3D do edifício extraída do Google Maps em 2026. Por estar localizado em uma região nobre do Porto, ele recebeu uma virtualização 3D na plataforma de mapas do Google, indexando com um certo nível de detalhe a casca dos pavimentos superiores.

Figura 4: Vista 3D do Edifício Estudado



Fonte: Google Maps (2026).

### 3.2 Equipamentos e Ferramentas Computacionais

A aplicação do fluxo de trabalho *Scan-to-BIM* em uma edificação da escala e complexidade do Shopping La Vie requer a seleção criteriosa de equipamentos de captura e de *softwares* de alto desempenho computacional. A adoção de uma abordagem de levantamento híbrida justifica-se pela necessidade de mitigar as limitações físicas individuais de cada equipamento, garantindo uma cobertura espacial integral, contínua e precisa do ativo.

### 3.2.1 Hardware de Captura

A fotogrametria aérea foi conduzida utilizando a aeronave DJI Mavic 3 apresentada na Figura 5. A utilização de drones é fundamental para o mapeamento completo de coberturas e de elementos de fachada em elevadas altitudes, uma vez que estas áreas são frequentemente inacessíveis ou sujeitas a severas oclusões quando escaneadas apenas a partir do solo. Este equipamento foi selecionado pela sua elevada autonomia de voo, estabilidade e capacidade de captação de imagens de alta resolução, parâmetros que são determinantes para gerar nuvens de pontos densas através de algoritmos de reconstrução 3D.

Figura 5: Foto do drone utilizado para levantamento VANT



Fonte: <https://www.dji.com/br>

Para o levantamento dos corredores, galerias comerciais, áreas técnicas e fachadas ao nível do solo, empregou-se o scanner terrestre Leica BLK 360, apresentado na Figura 6. Os equipamentos TLS garantem o rigor milimétrico necessário para a captura de geometrias arquitetônicas estruturais e detalhes complexos em ambientes interiores. O modelo Leica BLK 360 destaca-se pela sua extrema portabilidade e rapidez de operação, otimizando o tempo de reposicionamento entre as múltiplas estações de varrimento que o *layout* labiríntico do complexo comercial exige.

Figura 6: Scanner utilizado para o levantamento TLS



Fonte: <https://leica-geosystems.com/>

### 3.2.2 Ferramentas Computacionais (*Softwares*)

A transição da vasta massa de dados em bruto para um modelo paramétrico estruturado exigiu uma cadeia de ferramentas de *software* interdependentes, categorizadas em três etapas:

- i. **Processamento Fotogramétrico (Agisoft Metashape / Autodesk ReCap Photo):** Ferramenta dedicada ao alinhamento espacial do registro fotográfico aéreo capturado pelo VANT. O *software* processa os píxeis homólogos das imagens sobrepostas para gerar a nuvem de pontos tridimensional correspondente à envoltória externa do shopping.
- ii. **Autodesk ReCap Pro:** *Software* de pré-processamento utilizado para a limpeza, unificação e indexação das nuvens de pontos híbridas. O ReCap Pro tem a função de fundir a nuvem do drone com as diversas nuvens geradas pelo TLS num único sistema de coordenadas partilhado. Posteriormente, converte e comprime os dados resultantes para formatos indexados (arquivos .RCP e .RCS), permitindo uma manipulação fluida e que não inviabilize a memória RAM dos computadores na fase de modelagem.
- iii. **Autodesk Revit:** Plataforma BIM selecionada para a execução da modelagem geométrica e semântica do ativo. O arquivo consolidado .RCP é importado para o Revit, onde atua como um gabarito tridimensional (ou *template* espacial) de altíssima precisão. É nesse ambiente que as primitivas geométricas da nuvem de pontos são interpretadas para o traçado de famílias paramétricas (como paredes, lajes, pilares e sistemas envidraçados), consolidando a criação final do modelo *as-built*.

### 3.3 Planejamento e Aquisição de Dados

A fase de aquisição de dados em campo é a etapa mais crítica do fluxo de trabalho *Scan-to-BIM*, uma vez que a qualidade da modelagem subsequente está diretamente subordinada à precisão, densidade e integridade das informações recolhidas. A magnitude do Shopping La Vie exigiu um planejamento logístico rigoroso para garantir a correta sobreposição dos dados aéreos e terrestres, além de minimizar os impactos na rotina operacional do centro comercial e evitar o retrabalho.

O levantamento foi estruturado em duas frentes de captura simultâneas e complementares: a fotogrametria aérea para a envoltória e a digitalização a laser para os ambientes internos e térreos. A Figura 7 mostra uma das visitas em campo com esse propósito.

Figura 7: Fotografia visita interna Shopping LaVie



Fonte: Autor (2026).

#### 3.3.1 Planejamento do Voo e Captura Aérea (VANT)

A captura da cobertura e das fachadas superiores foi executada com o DJI Mavic 3. O planejamento do voo foi previamente estabelecido em *software* de controle de missão,

definindo-se os parâmetros de navegação autônoma para assegurar a consistência do *Ground Sample Distance* (GSD) e a densidade da malha fotográfica, conforme detalhado nos itens a seguir:

- **Malha de Voo e Sobreposição:** Para a cobertura geométrica irregular do shopping, adotou-se um padrão de voo em grelha dupla cruzada (*double grid*), garantindo a captura ortogonal (câmera em ângulo nadir a 90°). Configurações de sobreposição frontal de 80% e sobreposição lateral de 75% foram mantidas para assegurar redundância de píxeis homólogos, essencial para a eficácia do algoritmo *Structure from Motion* (SfM).
- **Captura de Fachadas:** Para as fachadas externas, realizaram-se voos complementares com trajetórias orbitais e a câmera ajustada em ângulos oblíquos (entre 45° e 60°). Essa abordagem mitigou pontos cegos sob as cornijas e garantiu a leitura da profundidade dos elementos arquitetônicos verticais.
- **Condições de Captura:** Os voos foram planejados para horários com iluminação difusa (céu nublado ou luz solar indireta), a fim de evitar a projeção de sombras duras e atenuar os reflexos nas vastas superfícies envidraçadas, o que poderia corromper a texturização e a geração da nuvem de pontos.

### 3.3.2 Mapeamento Terrestre a Laser (TLS)

A digitalização dos interiores (áreas de circulação, átrios e galerias) e do perímetro térreo externo foi conduzida com o equipamento Leica BLK 360. A arquitetura labiríntica e a vasta área de 30.000 m<sup>2</sup> exigiram uma estratégia de posicionamento de estações meticulosa, como detalhado a seguir:

- **Posicionamento das Estações de Varrimento:** O posicionamento do equipamento foi planejado para garantir uma linha de visão limpa, contornando oclusões geradas por pilares, expositores comerciais e transeuntes. A distância entre as estações de varrimento foi mantida de forma a garantir uma sobreposição mínima de 30% a 40% entre as leituras consecutivas, taxa necessária para que o *software* de pré-processamento consiga unificar (*registration*) os escaneamentos através do método *cloud-to-cloud*.
- **Gestão de Obstáculos Dinâmicos e Superfícies:** A captura em interiores de tipologia comercial enfrenta o desafio de obstáculos dinâmicos (circulação de pessoas). Para minimizar ruídos, as capturas foram programadas para períodos de baixo tráfego, entre

às 18h e 22h da noite. Adicionalmente, redobrou-se a atenção ao posicionar o *scanner* de modo a evitar a incidência perpendicular do laser em montras de vidro, reduzindo os erros de refração e falsas leituras espaciais.

### 3.3.3 Rede de Controle e Integração Espacial

Para garantir que a nuvem de pontos gerada pelo drone e a nuvem de pontos do *laser scanner* pudessem ser fundidas no mesmo sistema de coordenadas com precisão, foi estabelecida uma rede de amarração. Utilizaram-se alvos artificiais passivos (esferas de referência e alvos em xadrez) estrategicamente distribuídos nas zonas de transição entre o interior e o exterior da edificação (como nas entradas principais e áreas de estacionamento expostas).

Esses alvos físicos (Figura 8), reconhecidos tanto pelo laser quanto pelas fotografias do VANT, serviram como pontos de controle comuns. Esta amarração garantiu que o arquivo final consolidado preservasse a escala real e a orientação global correta da edificação, mitigando desvios cumulativos ao longo da vasta extensão do modelo.

Figura 8: Alvo *Ground Control Points*



Fonte: <https://dronesafestore.com/blog/drone-industry-products>.

### 3.4. Processamento, Registro e Unificação de Dados

Concluída a aquisição de dados no Shopping La Vie, o fluxo de trabalho transitou para a fase de pré-processamento em escritório. O objetivo desta etapa consistiu em processar os dados brutos de origens distintas (fotogrametria e laser terrestre), excluir os ruídos capturados e consolidar as informações em um único arquivo de nuvem de pontos, geometricamente coerente e indexado. Esse processamento foi estruturado em quatro etapas operacionais e computacionais sequenciais, a seguir descritas. A Figura 9 registra uma das reuniões elaboradas na empresa com o objetivo de tratar todos esses dados, e direcionar as equipes para o desenvolvimento dos trabalhos de processamento de cada etapa.

Figura 9: Reunião de Alinhamento em Escritório



Fonte: Autor (2024).

Para os processamentos fotogramétricos, a equipe precisou ser composta por pelo menos um topógrafo, com o propósito de fazer a calibração com seu conhecimento técnico, do grau de precisão dos equipamentos e *softwares*, assim como fazer a validação da informação captada com a realidade do local.

### 3.4.1 Processamento Fotogramétrico (VANT)

Os dados aéreos recolhidos pelo DJI Mavic 3 foram importados para o Agisoft Metashape. A reconstrução tridimensional baseou-se em algoritmos de *Structure from Motion* (SfM) e *Multi-View Stereo* (MVS). O fluxo iniciou-se com o alinhamento das imagens, em que o *software* identificou os píxeis homólogos (pontos em comum) entre fotografias sobrepostas, estimando a posição e a orientação exata da câmara no momento de cada disparo. Esse cálculo gerou uma nuvem de pontos esparsa preliminar. Subsequentemente, o algoritmo calculou a profundidade e a densidade geométrica, originando a nuvem de pontos densa, que representou fielmente a volumetria da cobertura e as fachadas superiores do complexo comercial, atribuindo valores de cor (RGB) reais a cada coordenada (X, Y, Z).

### 3.4.2 Registro dos Varrimentos a Laser (TLS)

Paralelamente, os dados brutos recolhidos pelo Leica BLK 360 nos ambientes interiores e no perímetro térreo foram importados para o Autodesk ReCap Pro. O processo de registro (*registration*) consistiu em "costurar" espacialmente as múltiplas estações de varrimento para formar uma nuvem de pontos contínua. Para garantir o rigor geométrico necessário à engenharia civil, o registro combinou duas abordagens:

- i. **Registro baseado em alvos (*Target-based registration*):** O *software* reconheceu automaticamente as esferas e os alvos em xadrez posicionados em campo, utilizando-os como eixos de articulação para aproximar os varrimentos.
- ii. **Registro Nuvem-a-Nuvem (*Cloud-to-Cloud*):** Para refinar o alinhamento, o *software* aplicou o algoritmo *Iterative Closest Point* (ICP), que sobrepôs as superfícies em comum entre estações vizinhas com base nos 30% a 40% de sobreposição previamente garantidos no planejamento.

### 3.4.3 Unificação de Dados e Limpeza de Ruído

A etapa de unificação, também conhecida como fusão de dados (*data fusion*), consistiu em integrar a nuvem de pontos do VANT e a nuvem do TLS num sistema de coordenadas global partilhado e único. O alinhamento dessas duas massas de dados foi ancorado na rede de controle estabelecida no exterior da edificação (alvos passivos captados simultaneamente por ambas as tecnologias).

Uma vez que o Shopping La Vie possui tráfego intenso e amplas superfícies envidraçadas, a nuvem de pontos unificada apresentava anomalias intrínsecas ao processo de captura. Procedeu-se à limpeza rigorosa dos dados (*noise reduction*) no Autodesk ReCap Pro. Esse tratamento envolveu a remoção manual e semiautomática de artefatos flutuantes resultantes de refrações nos vidros das montras. Foram removidos, também, objetos dinâmicos, tais como trabalhadores e veículos capturados durante o levantamento, garantindo que apenas a geometria estrutural e arquitetônica do ativo fosse exportada.

#### **3.4.4 Indexação e Exportação**

Para viabilizar a manipulação de um arquivo de vasto tamanho nos *softwares* de modelagem BIM, que tipicamente sofrem quebras de desempenho ao importar dados brutos não estruturados, a nuvem de pontos limpa e unificada foi indexada. O Autodesk ReCap Pro comprimiu e estruturou os dados geométricos num formato otimizado, exportando a envoltória consolidada do Shopping La Vie no formato proprietário da Autodesk (.RCP - ReCap Project), preparando o cenário ideal para o início da engenharia reversa no ambiente paramétrico.

### **3.5. Modelagem Geométrica e Semântica (*Scan-to-BIM*)**

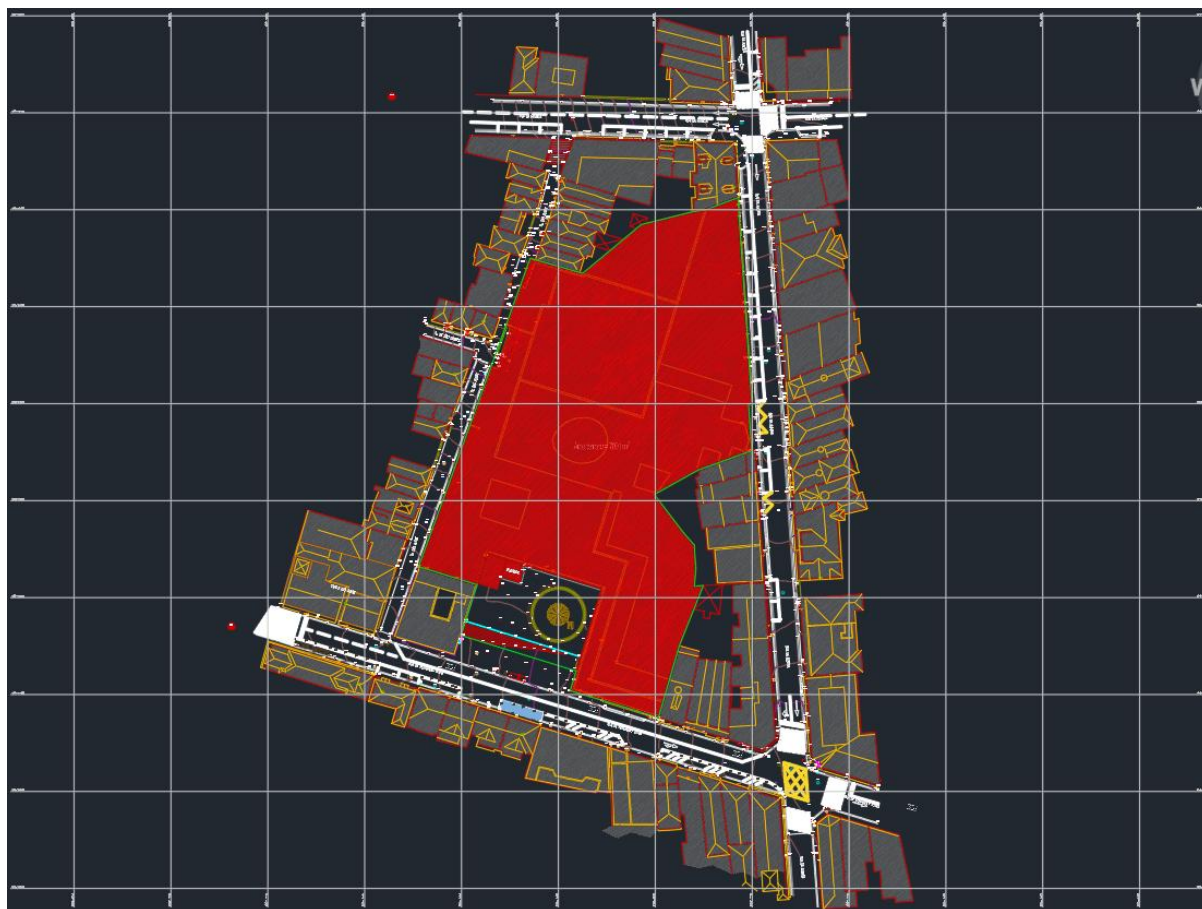
A última etapa da metodologia consistiu na engenharia reversa do ativo, ou seja, na transição dos dados espaciais não estruturados (nuvem de pontos) para um modelo paramétrico inteligente, o BIM. Essa fase foi executada no *software* Autodesk Revit e estruturou-se na interpretação geométrica do arquivo consolidado (.RCP) para o traçado de famílias arquitetônicas e estruturais.

Dada a escala do Shopping La Vie e a complexidade inerente à modelagem de edifícios existentes (*As-Is*), o fluxo de trabalho foi puramente fundamentado na modelagem manual assistida pela nuvem de pontos, exigindo rigor na interpretação dos dados visuais e critérios bem definidos de tolerância geométrica.

#### **3.5.1 Preparação do Ambiente BIM e Parâmetros de Projeto**

A modelagem iniciou-se com a inserção do arquivo da nuvem de pontos indexada no ambiente do Revit. O primeiro passo foi o estabelecimento do sistema de coordenadas compartilhado, garantindo que o modelo BIM assumisse a orientação espacial correta (Norte de Projeto e Norte Verdadeiro) ditada pela rede de controle topográfico do levantamento. O levantamento topográfico desenvolvido no formato .DWG que está apresentado na Figura 10.

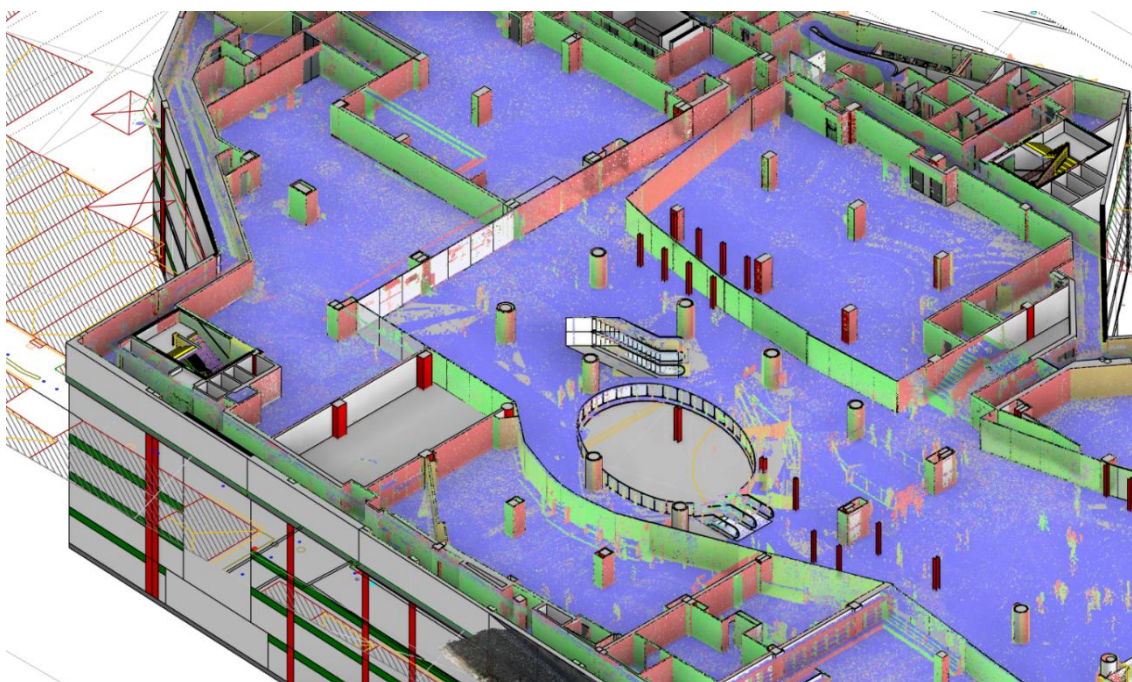
Figura 10: Levantamento topográfico do Shopping LaVie



Fonte: Autor (2026).

Subsequentemente, definiram-se as referências altimétricas. Utilizando caixas de corte (*Section Boxes*) e vistas de secção na nuvem de pontos, foram traçados os Níveis (*Levels*) correspondentes aos diferentes pavimentos do centro comercial, bem como as grelhas estruturais (*Grids*) principais, ancoradas nos eixos dos pilares capturados pelo *laser scanner*. A precisão na definição dessas diretrizes iniciais é importante, pois elas servem como restrições paramétricas (níveis de base e topo) para todos os elementos modelados a seguir. A Figura 11 apresenta a sobreposição do modelo arquitetônico e estrutural com a nuvem de pontos desenvolvida, demonstrando o nível de precisão requerido em um trabalho de grande escala.

Figura 11: Modelo 3D Sobreposto com PointCloud



Fonte: Autor (2026).

### 3.5.2 Modelagem Manual Assistida e Extração de Geometria

Sem o recurso a algoritmos de automação, a extração geométrica dependeu da análise visual do operador e das ferramentas de visualização do próprio Revit. Para o traçado de milhares de metros lineares de paredes, lajes e a alocação de pilares, adotou-se a seguinte estratégia operacional:

- i. **Fatiamento da Nuvem de Pontos:** Ajustou-se a Faixa da Vista (*View Range*) nas plantas de piso para criar cortes horizontais finos (ex: 1,20 m do nível do piso). Isso permitiu isolar o contorno das paredes e pilares, eliminando o ruído visual gerado por tetos falsos ou mobiliário.
- ii. **Identificação e Traçado:** Utilizando as ferramentas de atração (*Snap*s) do Revit compatíveis com nuvens de pontos, o operador traçou o eixo ou a face de acabamento dos elementos arquitetônicos. Onde o ruído da nuvem de pontos (ex.: reflexos em montras) dificultou a leitura, recorreu-se ao registro fotográfico esférico gerado pelo scanner como ferramenta de apoio à decisão.
- iii. **Atribuição Semântica:** Durante o traçado, os elementos não foram representados como simples volumes genéricos, mas sim como instâncias de famílias do sistema (ex.: Família de Parede Básica), atribuindo-lhes propriedades construtivas e materiais compatíveis com as características observadas no ativo.

### 3.5.3 O Dilema do *As-Is* versus Parametrização Ideal

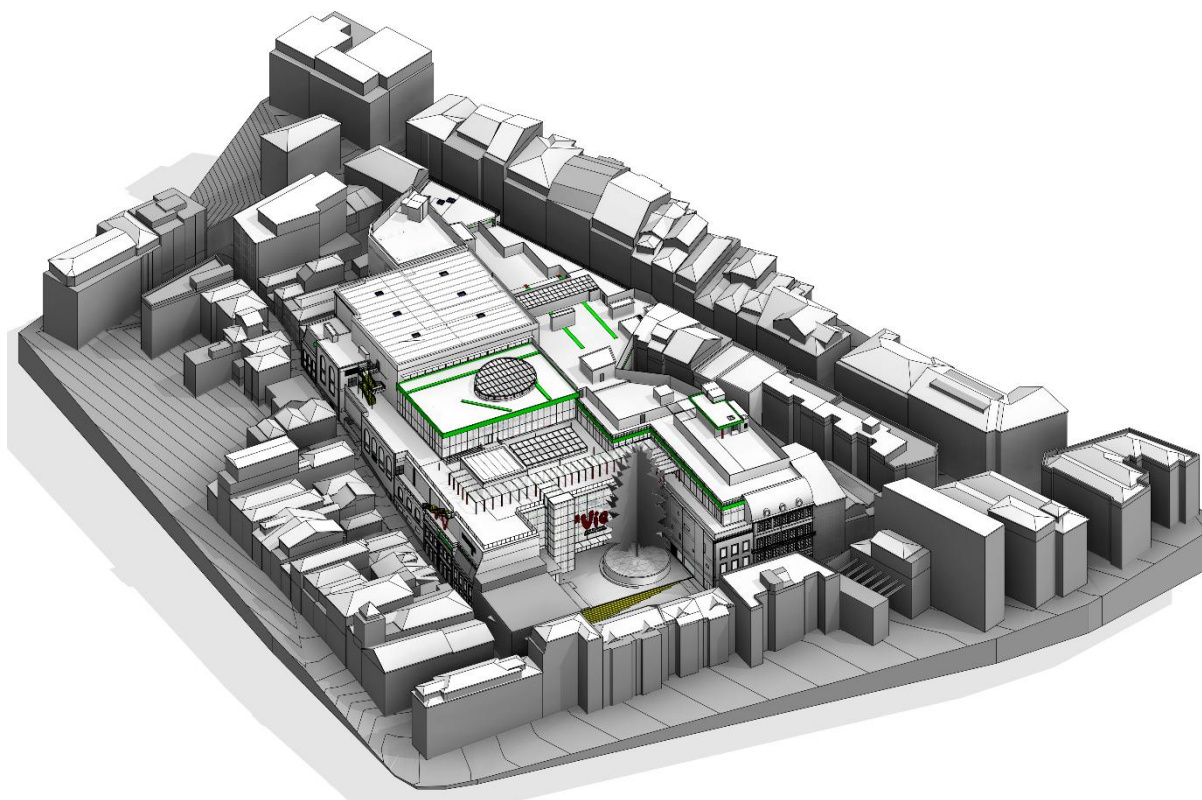
Ao modelar a cobertura irregular, as fachadas envidraçadas multifacetadas e as deformações estruturais do Shopping La Vie, o projeto lidou com o dilema clássico do *Scan-to-BIM*: a divergência entre a realidade física (imperfeita e assimétrica) e a rigidez ortogonal dos *softwares* BIM, que foram concebidos predominantemente para o desenho de novas edificações com geometrias padronizadas. Para resolver esse impasse sem inviabilizar o modelo paramétrico, estabeleceu-se um Nível de Exatidão (LoA) com uma tolerância geométrica definida de 5 cm. Foi adotada essa precisão, pois representa o limite ideal entre a tolerância construtiva real e as limitações de ortogonalidade dos *softwares* BIM, garantindo um modelo leve e confiável para uma escala.

Para elementos que apresentavam desvios, inclinações ou desaprumos inferiores à tolerância estabelecida, a geometria foi "idealizada". Esses elementos foram modelados de forma ortogonal, vertical e nivelada com as famílias padrão do Revit. Essa escolha privilegiou a estabilidade paramétrica do modelo e a sua utilidade para futuras simulações e extração de quantitativos.

Para geometrias altamente irregulares ou deformações severas (excedendo a tolerância), cuja simplificação comprometeria a representatividade espacial do ativo, utilizou-se a ferramenta "Modelar no Local" (*Model In-Place*) através da extrusão de sólidos. Conforme corroborado pela literatura, embora esta técnica resulte em elementos mais difíceis de editar posteriormente, é a solução mais eficaz para representar anomalias e geometrias não padronizadas.

A Figura 12 apresenta o modelo final dos projetos desenvolvidos neste trabalho, contemplando a junção de três arquivos de Revit vinculados em um só. São eles: o modelo arquitetônico, o modelo estrutural e o modelo de envolvente, frequentemente requerido pelas prefeituras, para aprovação dos projetos subsequentes.

Figura 12: Modelo Arquitetônico Final desenvolvido no Autodesk Revit



Fonte: Autor (2026).

O planejamento e a execução dos voos fotogramétricos com o VANT no Shopping La Vie obedeceram rigorosamente à legislação aeronáutica vigente no território português. Além das autorizações de voo em espaço aéreo restrito, garantiu-se o cumprimento da contratação de seguro de responsabilidade civil obrigatório para a aeronavegabilidade de sistemas não tripulados (UAS), em estrita conformidade com os requisitos estipulados pela Portaria n.º 2/2021 (PORTUGAL, 2021). Em Portugal, a Portaria regulamenta o seguro de responsabilidade civil obrigatório para operadores de aeronaves civis não tripuladas (UAS / drones). Como obrigatoriedade, aplica-se a operadores de drones cuja aeronave tenha massa máxima operacional superior a 900 gramas, e cobre a obrigação de indemnizar terceiros por danos patrimoniais, visando cumprir com o estipulado no decreto.

## 4 RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados os resultados práticos obtidos através da aplicação da metodologia *Scan-to-BIM* no estudo de caso do Shopping La Vie. O foco da discussão compreende as diretrizes técnicas de processamento, a eficácia do fluxo de trabalho delineado e a avaliação da precisão do modelo final (*As-Built*) face à complexidade da geometria real (*As-Is*) capturada pelos sensores. A seguir o resumo dos resultados abordados:

- Estabelecer diretrizes técnicas para o processamento, unificação e redução de ruído (*noise reduction*) de nuvens de pontos massivas de fontes híbridas;
- Desenvolver um diagrama de fluxo de trabalho (*workflow*) detalhando as etapas desde a importação da nuvem de pontos até à modelagem de elementos paramétricos (*As-Is*);
- Aplicar o fluxo de trabalho proposto no Estudo de Caso do edifício comercial Shopping La Vie, avaliando a precisão do modelo final (*As-Built*) em relação aos dados de captura.

### 4.1 Diretrizes Técnicas para Processamento e Redução de Ruído em Nuvens Híbridas

A consolidação de dados provenientes de fontes híbridas (VANT e TLS) provou ser uma etapa crítica, cujo sucesso dependeu de diretrizes estritas de alinhamento e limpeza de dados (*noise reduction*).

A captura aérea realizada com o DJI Mavic 3, processada através de algoritmos de *Structure from Motion* (SfM), garantiu a densidade pontual necessária para a malha da cobertura irregular do shopping, eliminando as oclusões (zonas cegas) que o scanner terrestre não conseguia alcançar. Por sua vez, o varrimento terrestre com o Leica BLK 360 forneceu o rigor milimétrico dos corredores e fachadas térreas.

A unificação destas massas de dados no Autodesk ReCap Pro seguiu um protocolo rigoroso. O registro *Cloud-to-Cloud* (apoiado pelo algoritmo ICP) e a ancoragem nos alvos físicos de controle permitiram fundir os dois levantamentos com um erro quadrático médio aceitável para a escala do projeto.

O Shopping La Vie, devido à sua tipologia comercial, apresentou desafios severos de ruído nos dados brutos. Estabeleceram-se as seguintes diretrizes práticas de limpeza:

- **Ruído Dinâmico:** A remoção manual de artefatos flutuantes gerados pela circulação de transeuntes e veículos durante o levantamento.

- **Refração e *Multipath*:** As vastas superfícies envidraçadas das fachadas e vitrines internas causaram desvios nos feixes do *laser*, criando "geometrias fantasma" no interior do modelo. A diretriz adotada foi a utilização de *Limit Boxes* (Caixas de Limite) no ReCap para isolar os planos de vidro e excluir os pontos refratados equivocadamente. O resultado foi a exportação de um arquivo unificado e indexado (.RCP).

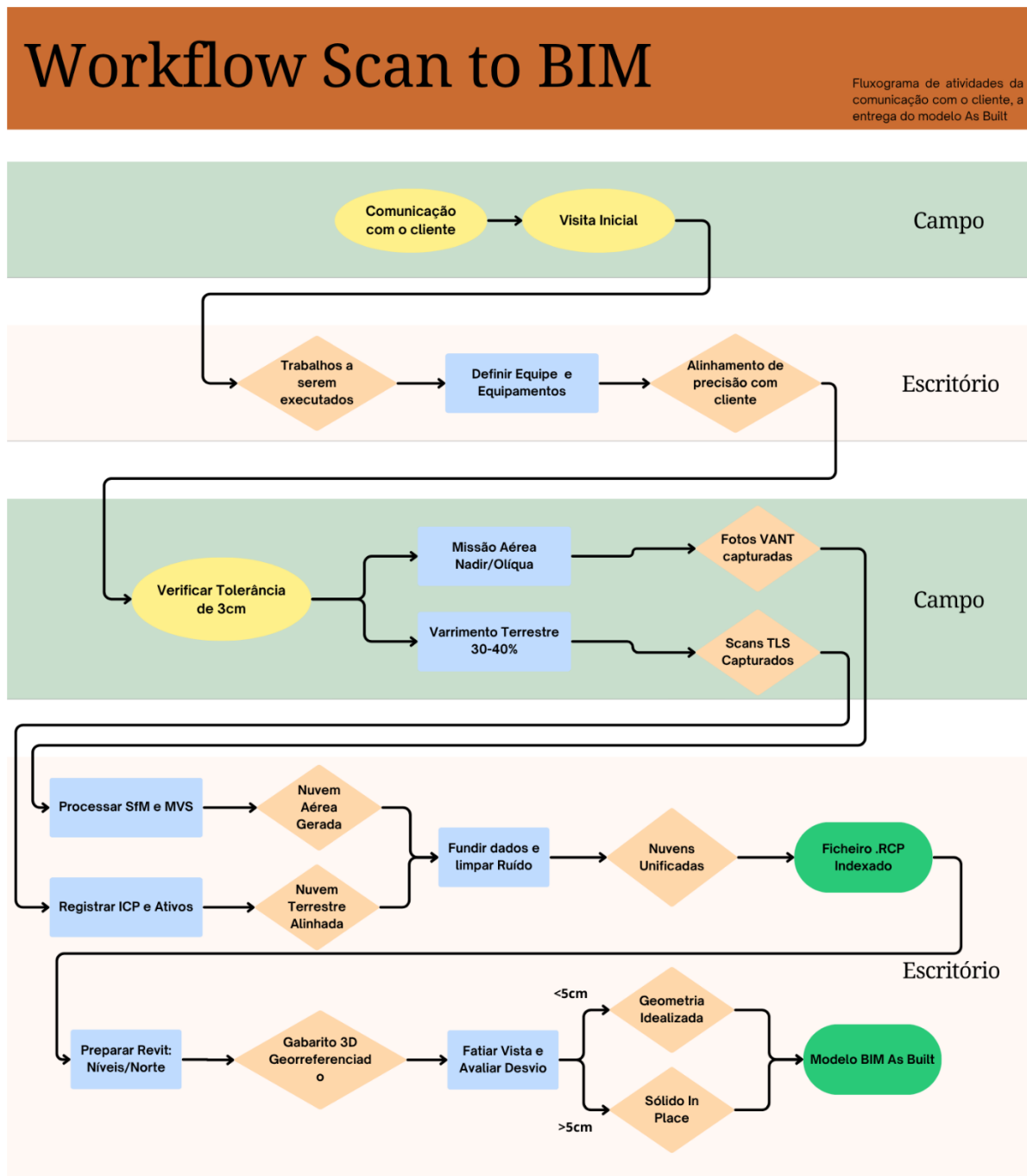
#### 4.2 Aplicação do Diagrama de Fluxo de Trabalho *Scan-to-BIM*

O diagrama de fluxo de trabalho estruturado na metodologia foi integralmente aplicado na transição dos dados espaciais para a modelagem paramétrica no Autodesk Revit. A aplicação prática permitiu avaliar a sequência lógica das operações, desde a importação do arquivo até à instanciação das famílias.

O *workflow* ratifica a eficácia da Modelagem Manual Assistida. Ao evitar a dependência de algoritmos de automação (que frequentemente falham em geometrias não-ortogonais de grande complexidade), o fluxo baseou-se na capacidade de interpretação técnica do operador. O processo consolidado seguiu a seguinte ordem prática:

- **Ancoragem Espacial:** Importação do .RCP e alinhamento do norte de projeto com as fachadas principais do edifício, garantindo uma matriz de trabalho ortogonal.
- **Definição Altimétrica:** Criação dos níveis de cada piso, balizados pelas lajes estruturais escaneadas.
- **Fatiamento e Extração:** Utilização ostensiva de *View Range* (Faixa de Vista) em planta, com cortes finos a 1,20 m do piso, isolando as alvenarias e pilares da poluição visual gerada por forros e instalações suspensas.

A modelagem de engenharia reversa inicia-se com a importação desse arquivo para o Revit. A preparação do ambiente, através da definição do norte e dos níveis, estabelece um gabarito 3D georreferenciado. A partir do fatiamento da vista, avalia-se o desvio geométrico da edificação para a tomada de decisão da modelagem: desvios inferiores a 5 cm são representados por meio de geometria idealizada, enquanto desvios superiores a 5 cm exigem a modelagem de precisão através de sólidos *in place*. Ambas as abordagens convergem para a consolidação e entrega final do modelo BIM *As-Built*. O fluxograma representativo da metodologia proposta, que sintetiza as quatro macros fases do fluxo de trabalho *Scan-to-BIM* está evidenciado na Figura 13.

Figura 13: *Workflow Scan to BIM*

Fonte: Autor (2026).

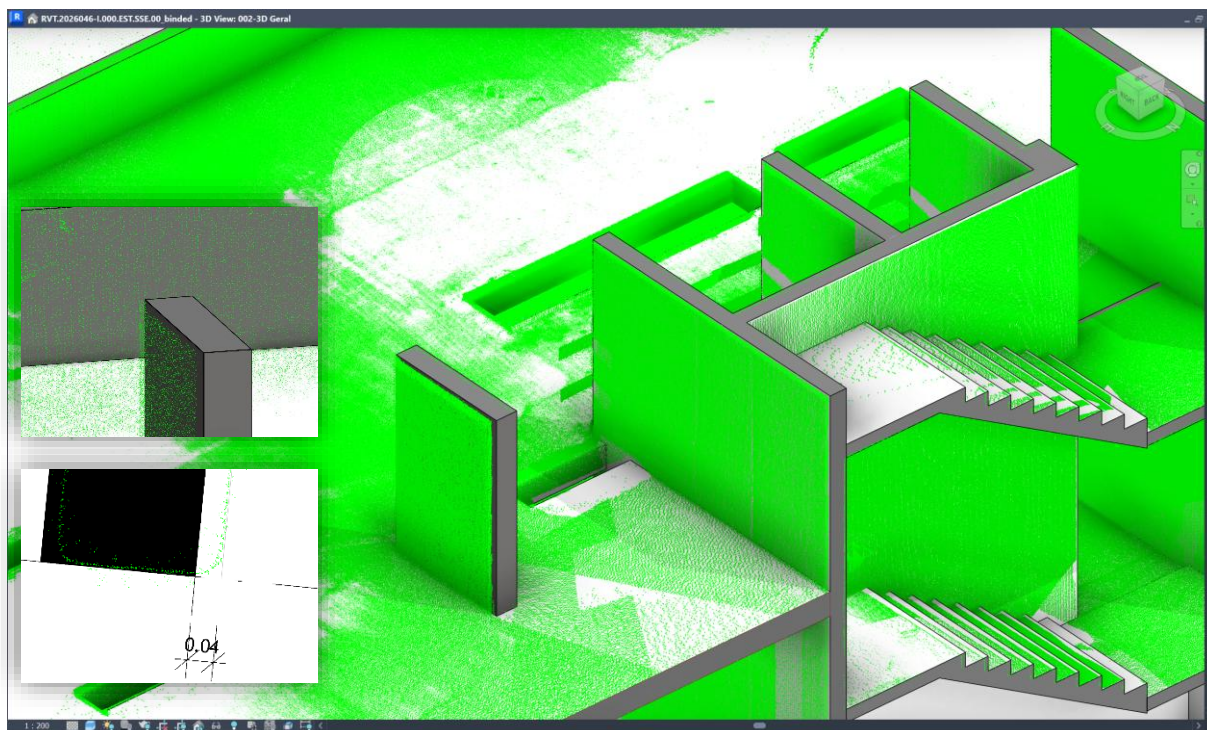
#### 4.3 Avaliação de Precisão: Condição *As-Is* vs. Modelo *As-Built*

A etapa mais rigorosa consistiu em avaliar como o modelo BIM gerado se comportou em relação à nuvem de pontos bruta. O desafio central da engenharia reversa — o dilema entre representar as imperfeições da realidade física (*As-Is*) e criar um modelo esteticamente limpo e paramétrico (*As-Built*) — foi solucionado através do Nível de Exatidão (LoA) e do limiar de

tolerância geométrica de 5 cm previamente estabelecido. A sobreposição visual entre o modelo do Revit e a nuvem de pontos revelou os seguintes resultados:

- **Geometria Idealizada (Desvios < 5 cm):** A grande maioria das vedações internas e eixos estruturais padrão apresentou desvios de prumada ou alinhamento inferiores à tolerância. Nesses casos, a adoção de famílias padrão do Revit (verticais e ortogonais) garantiu a estabilidade paramétrica do modelo.
- **Modelagem de Exceção (Desvios > 5 cm):** Nas zonas de cobertura irregular, abóbadas e patologias estruturais severas, a simplificação ortogonal não foi admissível, pois comprometeria o volume real do ativo. Nesses cenários, a regra do fluxo de trabalho direcionou a operação para a modelagem por sólidos (*Model In-Place*). Embora essa técnica reduza a inteligência paramétrica do elemento, a sobreposição visual indicou elevada concordância geométrica entre o elemento modelado e a nuvem de pontos. Na Figura 14, é possível verificar uma das zonas estruturais do edifício onde pode ser visualizado esse dilema.

Figura 14: *Section Box* da geometria estrutural de uma região do edifício



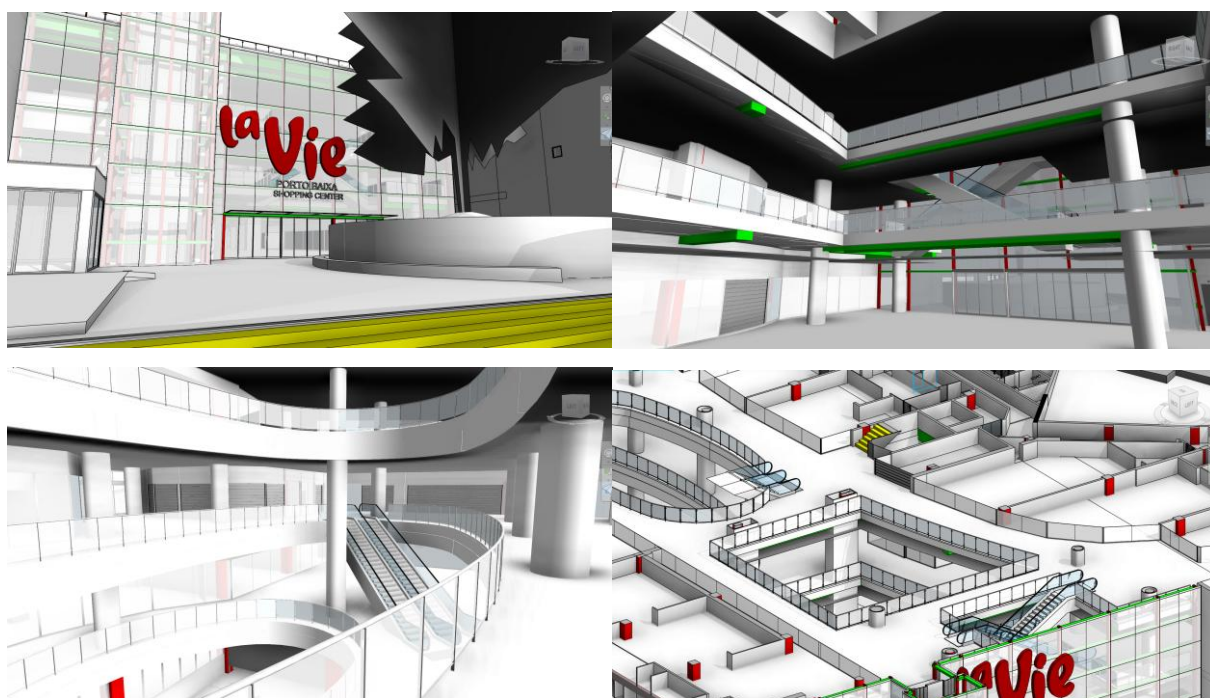
Fonte: Autor (2026).

Na zona apresentada na Figura 14, um dos pilares está afastado 4 cm da posição original dele nos eixos do projeto. No entanto optou-se por relevar essa informação do posicionamento

que a nuvem nos mostra, e preservá-lo geometricamente junto com os eixos. Essa decisão é feita ao considerar o erro do equipamento de levantamento, que deve ser levado em questão na tomada de decisão, também se enquadrando na Geometria Idealizada discutida na literatura. Além disso, baseia-se a justificativa da adoção dos 5 cm de tolerância para resolver o dilema entre as imperfeições da realidade e a parametrização ideal.

Na Figura 15, é possível verificar alguns detalhes de zonas do edifício que foram modeladas, conforme os LoDs contratados. Em todas, o dilema de modelagem se encontra válido, e por isso, contam com elementos de Geometria Idealizada e de Modelagem de Exceção.

Figura 15: Imagens do modelo final desenvolvido



Fonte: Autor (2026).

## 5 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo central propor e detalhar um fluxo de trabalho *Scan-to-BIM* otimizado, integrando dados de fotogrametria aérea e varrimento a *laser* terrestre para a modelagem de edificações de grande escala e complexidade geométrica. Através do estudo de caso aplicado ao Shopping La Vie, no Porto, foi possível comprovar a viabilidade técnica e a eficiência da metodologia estruturada.

A aplicação prática da abordagem de captura híbrida revelou-se indispensável para um ativo com as proporções (aproximadamente 30.000 m<sup>2</sup>) e as características arquitetônicas do objeto de estudo. O uso exclusivo do *Terrestrial Laser Scanning* teria resultado em oclusões severas na envoltória e coberturas, enquanto a adoção isolada de Veículos Aéreos Não Tripulados não forneceria o rigor milimétrico exigido nos ambientes interiores labirínticos. A integração de ambas as tecnologias superou essas limitações operacionais, gerando uma nuvem de pontos consolidada e altamente representativa da condição *As-Is*.

Apesar dos resultados satisfatórios, a metodologia evidenciou que o processo de transição da nuvem de pontos para o modelo BIM ainda requer um investimento considerável de horas de trabalho humano. A limpeza de ruídos (como os artefatos gerados pela alta reflexividade das fachadas envidraçadas) e a interpretação visual da geometria através de caixas de corte demandam operadores altamente especializados.

A aplicação da tolerância de 5 cm é fundamental para solucionar o dilema entre a fidelidade geométrica da condição *As-Is*. A eficácia desse critério foi comprovada na prática ao se identificar, por exemplo, um pilar estrutural com um desvio real de 4 cm em relação aos eixos originais do projeto. Ao classificar esse afastamento dentro da tolerância permitida, optou-se por aplicar a geometria idealizada, relevando a imperfeição apontada pela nuvem de pontos e preservando o elemento perfeitamente ortogonal e alinhado aos eixos. Essa decisão técnica absorve a margem de erro inerente aos próprios equipamentos de captura.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a investigação do uso de inteligência artificial e algoritmos de aprendizado de máquina (*Machine Learning*) diretamente nos *softwares* de pré-processamento. O desenvolvimento de ferramentas capazes de segmentar e classificar automaticamente nuvens de pontos de fontes híbridas antes de sua importação para o ambiente de autoria BIM poderá reduzir ainda mais o tempo de escritório, consolidando definitivamente a transformação digital e a engenharia reversa na construção civil.

## REFERÊNCIAS

- Andaru, R., Cahyono, B. K., Riyadi, G., Istarno, Djurdjani, Ramadhan, G. R., & Tuntas, S. (2019). **The Combination Of Terrestrial Lidar And Uav Photogrammetry For Interactive Architectural Heritage Visualization Using Unity 3d Game Engine**. *6th International Workshop LowCost 3D - Sensors, Algorithms, Applications*. Estrasburgo: ISPRS (The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W17).
- Borges, B. S., Oliveira, D. S., Santos, C. F., Carvalho, J. M., César Júnior, K. M., Ribeiro, J. C., . . . Coelho, R. B. (2023). **Modelagem As Built De Obras de Artes Especiais Utilizando Nuvem De Pontos Em Interface BIM**. *XIV Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas (CBPE)*. Viçosa.
- Cruz, J. G., & Perin, J. (2022). **Topografia na Construção Civil: Análise comparativa dos levantamentos topográficos realizados por estação total e drone**. *Repositório Universitário Anima (RUNA)*, pp. 1-21.
- PORTUGAL. (2021). **Portaria n.º 2/2021, de 4 de janeiro**. *Diário da República*, 2-3. Disponível em: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/portaria/2-2021-152810682>. Acesso em: 05 de maio de 2026.
- Prokop, A., Nazarko, P., & Ziemiański, L. (2021). **Digitalization of historic buildings using modern technologies and tools**. *Budownictwo i Architektura*, pp. 83-94.
- Rocha, G. M. (2024). **Scan-To-Bim - Estratégias de Automatização da Modelação Geométrica a partir de Nuvem de Pontos**. Tese de Doutoramento, Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Thomson, C., & Boehm, J. (2014). **Indoor Modelling Benchmark For 3d Geometry Extraction**. *ISPRS Technical Commission V Symposium* (pp. 581-587). Riva del Garda: ISPRS (The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5).
- Tommasi, C., Achille, C., & Fassi, F. (2016). **From Point Cloud To Bim: A Modelling Challenge In The Cultural Heritage Field**. *XXIII ISPRS Congress*. Praga: ISPRS (The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B5).
- Voříšek, J., Patzák, B., Dvořáková, E., & Rypl, D. (2021). **Automated Bim Entity Reconstruction From Unstructured 3d Pointclouds**. *Acta Polytechnica CTU Proceedings* 30 (pp. 126-130). Praga: Czech Technical University in Prague.

ANEXO  
DECLARAÇÃO

Declaro para os devidos fins que este Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia/Tese/Dissertação), escrito sob minha orientação, está em versão final, de acordo com as solicitações realizadas pela banca examinadora.

Informo também que procedi à revisão final do texto, constatando que atende às especificações das normas da ABNT para apresentação de trabalhos acadêmicos da UFCA, no que diz respeito ao conteúdo e à formatação.

Data e local da assinatura eletrônica