ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Lições aprendidas na modelagem de As Is sobre desenhos 2D e nuvem de pontos

Lessons learned in As Is modeling from 2D drawings and point clouds

Rafael Fernandes Teixeira da Silva
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | rfs2574@gmail.com
Fernanda Fernandes Marchiori
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | fernanda.marchiori@ufsc.br
Caroline Bettini Frison
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | engcarolinefrison@gmail.com
Flávia Mânica
Secretaria de Estado do Planejamento | Florianópolis | Brasil | flaviamanica@hotmail.com

Resumo

A gestão documental dos ativos construídos na área pública é precária, o que torna mais difícil a operação e a manutenção desses ativos, em especial nos casos de reforma ou de readequações. Isso requer a contração de levantamentos para a atualização documental, que tradicionalmente é realizada através de fotografias, prancheta e trena. Este estudo de caso focou na modelagem do 1º Batalhão de Bombeiros Militar de Santa Catarina (1º BBM/SC), utilizando tecnologias para Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO), como BIM e escaneamento a laser terrestre (TLS). O objetivo foi avaliar as vantagens e desvantagens dessas tecnologias em comparação aos processos tradicionais de levantamento documental de ativos da construção civil e propor recomendações para modelagem com nuvem de pontos. O estudo comparou um modelo em BIM, transcrito do CAD, com um modelo de nuvem de pontos, ajustado para um estudo de reforma e ampliação. Essa abordagem permitiu apresentar as vantagens e desvantagens do uso dessas tecnologias comparadas aos processos tradicionais de levantamento para a documentação de ativos físicos da construção civil e recomendações para modelagem com nuvem de pontos.

Palavras-chave: Laser scanner. Nuvem de pontos. BIM. Edificações públicas. Gestão de ativos.

Abstract

The documentation management of constructed assets in the public sector is poor, making the operation and maintenance of these assets more difficult, especially in cases of renovation or reconfiguration. This requires the commissioning of surveys for document updates, which are traditionally carried out through photographs, clipboard, and measuring tape. This case study

Como citar:
SILVA, R. F. T., MARCHIORI, F. F., FRISON, C. B. F., MÂNICA, F. Lições aprendidas na modelagem de As Is sobre desenhos 2D e nuvem de pontos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

focused on the modeling of the 1st Military Firefighter Battalion of Santa Catarina (1º BBM/SC), using technologies for Architecture, Engineering, Construction, and Operation (AECO), such as BIM and terrestrial laser scanning (TLS). The objective was to evaluate the advantages and disadvantages of these technologies compared to traditional processes of documentary surveying of construction assets and to propose recommendations for modeling with point clouds. The study compared a BIM model, transcribed from CAD, with a point cloud model adjusted for a renovation and expansion study. This approach allowed for presenting the advantages and disadvantages of using these technologies compared to traditional survey processes for the documentation of physical assets in civil construction and recommendations for modeling with point clouds.

Keywords: Laser scanner. Point cloud. BIM. Public buildings. Asset Management.

INTRODUÇÃO

A gestão eficiente de bens públicos na operação e manutenção é crucial devido aos altos custos, representando cerca de 60% do ciclo de vida [1]. A falta de documentos técnicos pode causar incertezas na gestão de bens, aumentando custos e atrasos [2]. Serviços de levantamento são necessários para suprir essa lacuna, mas são lentos e imprecisos [3]. Esses métodos antiquados contribuem para a percepção negativa da indústria da construção, apesar de sua importância econômica [2][3].

Para superar esses desafios, o *Building Information Modeling* (BIM) tem sido proposto como uma solução [4]. Através da criação de modelos de informação do ativo (*Asset Information Model* - AIM), o BIM permite o gerenciamento abrangente de informações durante todo o ciclo de vida do ativo, proporcionando maior eficiência e produtividade à indústria da construção. O estudo realizado comparou o modelo BIM obtido da transcrição de arquivos 2D com a nuvem de pontos por TLS, com ajuste posterior do modelo transcrito com a nuvem de pontos. As lições aprendidas resultaram em recomendações úteis para instituições que precisam gerar documentos técnicos de ativos, facilitando a operação e manutenção com modelos BIM.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A indústria 4.0 introduziu tecnologias transformadoras na construção civil, destacando-se o BIM [4] e o *Terrestrial Laser Scanning* (TLS) [5]. O TLS utiliza *Light Detection and Ranging* (LiDAR) para gerar nuvens de pontos 3D, fornecendo informações precisas de posicionamento e intensidade [5][6], superando os métodos tradicionais de levantamento [7][8][9]. A ausência de informações precisas prejudica os profissionais de manutenção e operação [9][10]. As nuvens de pontos têm diversas aplicações na indústria AECO, incluindo documentação *as built/as is*, controle de qualidade dimensional e engenharia reversa.

Assim, o conceito de *Heritage-BIM* (HBIM) destaca a importância da preservação e documentação de edificações históricas, abordando a limitação da aplicação do BIM em ativos sem valor histórico-cultural [7][11][12][6][13].

Apesar da resistência para abordagens mais inovadoras na indústria AECO, é crescente a demanda por informações precisas, impulsionando a adoção do BIM [14]. O

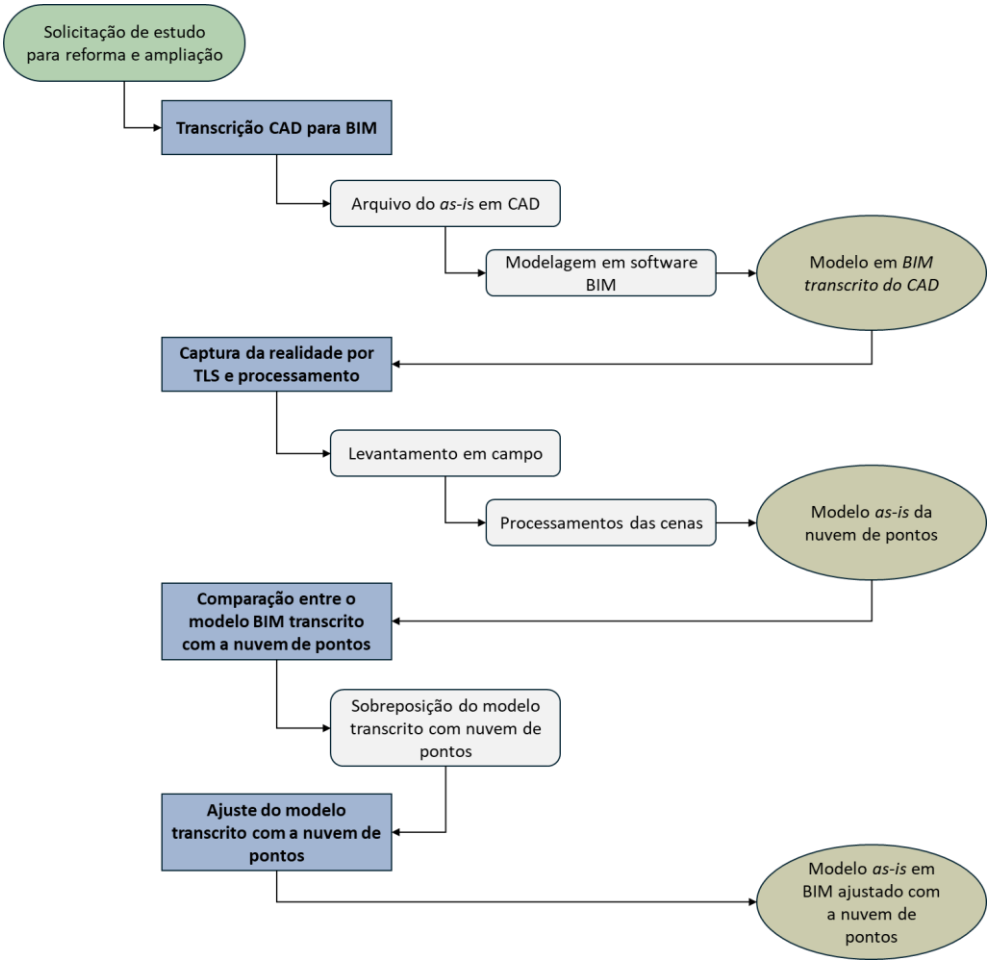
escaneamento a *laser* é reconhecido como essencial no contexto do BIM, sendo aplicado em monitoramento de obras e preservação do patrimônio cultural [15]. Sua importância se estende à arquitetura patrimonial, arqueologia e reabilitação, permitindo estudos detalhados de geometria e detecção de patologias [16][17]. A combinação de Realidade Virtual (VR) e escaneamento a *laser* em um ambiente BIM é uma aplicação inovadora em estudo para melhorar a comunicação e maximizar os benefícios da tecnologia de nuvem de pontos no canteiro de obras [14]. No entanto, o processo de modelagem BIM a partir de dados de escaneamento ainda é complexo e requer conhecimento técnico para garantir precisão e reduzir erros [9][12].

A criação de modelos BIM precisos que reflitam as condições reais e históricas dos ativos é crucial para sua conservação a longo prazo. Especificações detalhadas para a modelagem, incluindo a posição e precisão das entidades, são fundamentais para garantir a utilidade dos modelos [9]. Apesar dos desafios envolvidos, a integração do TLS e do BIM apresenta oportunidades significativas para melhorar a eficiência e precisão na construção civil. A colaboração entre profissionais da indústria e pesquisadores é fundamental para desenvolver práticas e padrões que impulsionem ainda mais a adoção dessas tecnologias inovadoras [11].

MÉTODO DE PESQUISA

O método empregado foi o de estudo de caso [18], que apresenta cinco etapas fundamentais que compõem a estratégia metodológica: a natureza das questões do estudo (a gestão documental dos ativos construídos na área pública, que é precária, dificultando a operação e manutenção desses ativos, especialmente em casos de reforma ou readequações), a formulação da pergunta de pesquisa (quais são as vantagens e desvantagens das tecnologias BIM e TLS em comparação aos métodos tradicionais de levantamento documental de ativos na construção civil?), a definição das unidades de análise (o 1º BBM/SC), a vinculação dos dados às proposições do estudo (comparação entre o modelo em BIM, transcrito do CAD, e o modelo de nuvem de pontos, ajustado para um estudo de reforma e ampliação) e os critérios para a interpretação dos resultados (a avaliação das vantagens e desvantagens do uso de BIM e TLS em comparação aos métodos tradicionais, bem como as recomendações para a modelagem com nuvem de pontos). Para o estudo foram utilizados arquivos CAD em PDF e softwares BIM para transcrição, além da captura da realidade por TLS (Leica BLK360). Essa abordagem permitiu comparações geométricas e destacou os benefícios do TLS para levantamentos *as is*. O fluxo do trabalho é esquematizado na Figura 1.

Figura 1: Fluxograma do processo de levantamento de dados e modelagem do 1 BBM-SC



Fonte: os autores.

RESULTADOS

TRANSCRIÇÃO CAD PARA BIM

A transcrição de CAD para BIM foi feita usando arquivos 2D do prédio do Batalhão de Corpo de Bombeiros. No entanto, havia incertezas sobre sua correspondência com a condição atual e desatualização.

O arquivo 2D em formato PDF foi importado para o software *ArchiCAD* da Graphisoft para iniciar a modelagem (Figura 2). No entanto, os arquivos 2D não forneceram informações suficientes para um modelo detalhado do edifício, especialmente para portas e janelas, que eram representações esquemáticas. Isso exigiu uma visita ao local para fotografar e medir as entidades do prédio.

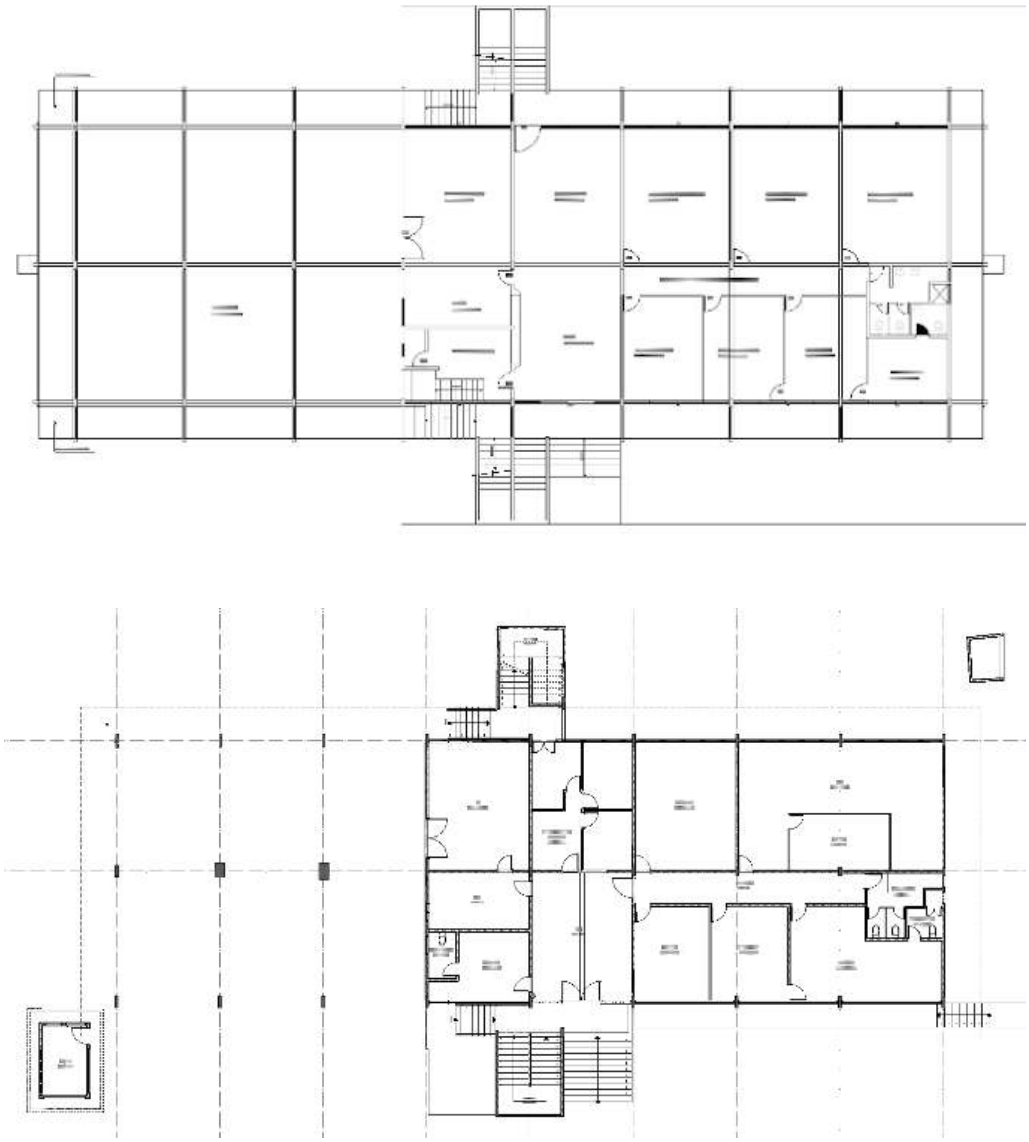
Figura 2 – Plantas baixas do *as is* em CAD e levantamento em campo tradicional com registro fotográfico e levantamento à trena (à acima, Planta baixa em CAD), (à baixo, imagem da garagem do 1°BBM-SC)



Fonte: LaBIM-SC.

A Figura 3 compara as plantas baixas do térreo, em CAD (à cima) e no modelo do *ArchiCAD* (à baixo) após ajustes pós-levantamento tradicional. A desatualização do documento CAD é evidente, especialmente nas paredes. Os softwares de modelagem permitem a inclusão de maior detalhamento geométrico e informação não-geométricas necessárias a cada uso.

Figura 3 – Plantas baixas do *as is* em CAD e com levantamento em campo tradicional e posterior modelagem. (à acima, planta baixa em CAD do térreo), (à abaixo, planta baixa em BIM da transcrição do térreo)



Fonte: LaBIM-SC.

CAPTURA DA REALIDADE POR TLS E PROCESSAMENTO

Antes de concluir a modelagem CAD para BIM, foi realizado o levantamento da realidade com o *laser scanner* BLK360 da Leica, Figura 4. Cada cena capturada foi processada individualmente no *Cyclone REGISTER 360* em um *tablet*, garantindo a sobreposição correta das cenas para formar o modelo 3D da nuvem de pontos. O pré-processamento da nuvem de pontos, incluindo registro, alinhamento, remoção de ruído, dimensionamento e segmentação, conforme descrito por [17], é uma etapa crucial. Após o levantamento, o processamento das cenas requer tratamento adicional no *Cyclone REGISTER 360* para consolidar um único arquivo 3D do ativo. Durante o processamento, ajustes automáticos podem ser aplicados para otimizar os dados e remover ruídos, conforme destacado na literatura.

Figura 4 – Imagem do equipamento da Leica, o *laser scanner* BLK360, entre os dois carros



Fonte: LaBIM-SC.

Após o processamento da nuvem de pontos, o arquivo foi exportado no formato "e57", interoperável. Esse formato é usado para armazenar nuvens de pontos, imagens e metadados produzidos por sistemas de captura da realidade e está documentado no padrão [19].

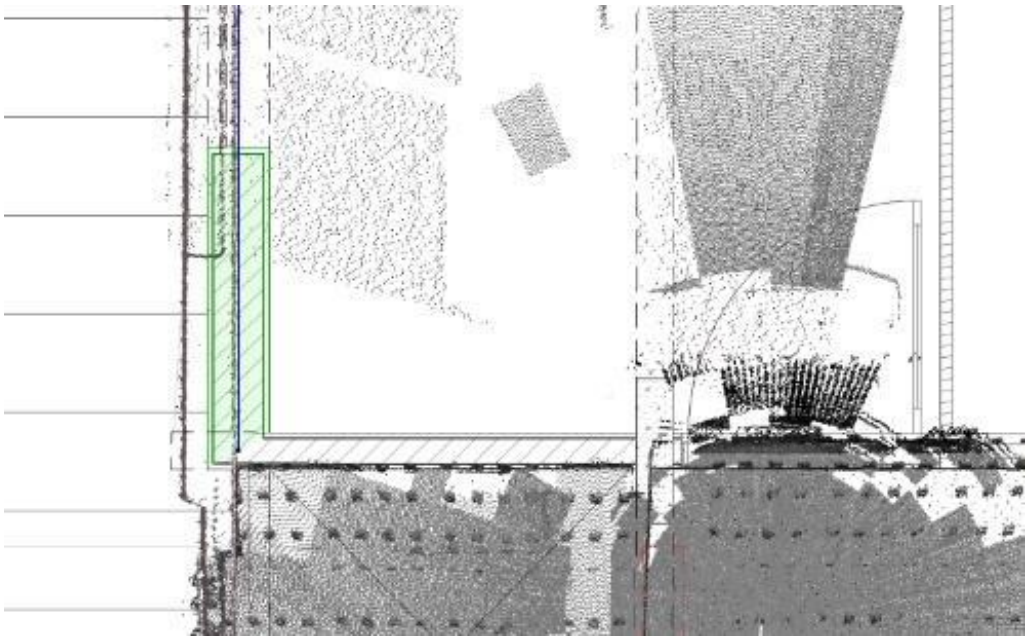
Devido à experiência prévia da equipe do LaBIM-SC com modelagem de nuvem de pontos no formato "e57" no *ArchiCAD*, o arquivo original foi dividido em dois: "1BBM-LV-LS-EDI-RV001.e57", com 2.864.563 KB, e "1BBM-LV-LS-LOC-RV001.e57", com 2.109.945 KB. Essa divisão seguiu o padrão de nomenclatura definido no Caderno de Especificação de Projetos em BIM do Governo do Estado de SC [20].

COMPARAÇÃO ENTRE O MODELO BIM TRANSCRITO COM A NUVEM DE PONTOS

A integração da nuvem de pontos com o modelo CAD no ArchiCAD enfrentou desafios devido às restrições do software na importação de arquivos "e57" acima de 3GB. Isso exigiu a segmentação da nuvem para facilitar a integração na modelagem. Apesar das tentativas de importação das nuvens sobre o modelo transcrito, a sobreposição inviabilizou essa abordagem, resultando na perda de uma referência comum entre eles.

Após transcrever o modelo CAD e integrá-lo com a nuvem de pontos no mesmo arquivo, o processo de alinhamento revelou diferenças entre o modelo idealizado e a realidade capturada. O alinhamento foi realizado pelas paredes externas voltadas para o norte e leste. É importante notar que o modelo CAD foi ajustado com base no levantamento tradicional, o que ajudou a reduzir os erros durante o processo.

Figura 5 – Diferença entre a parede transcrita do CAD (em verde) e a parede representada pela nuvem de pontos levantada com o laser scanner

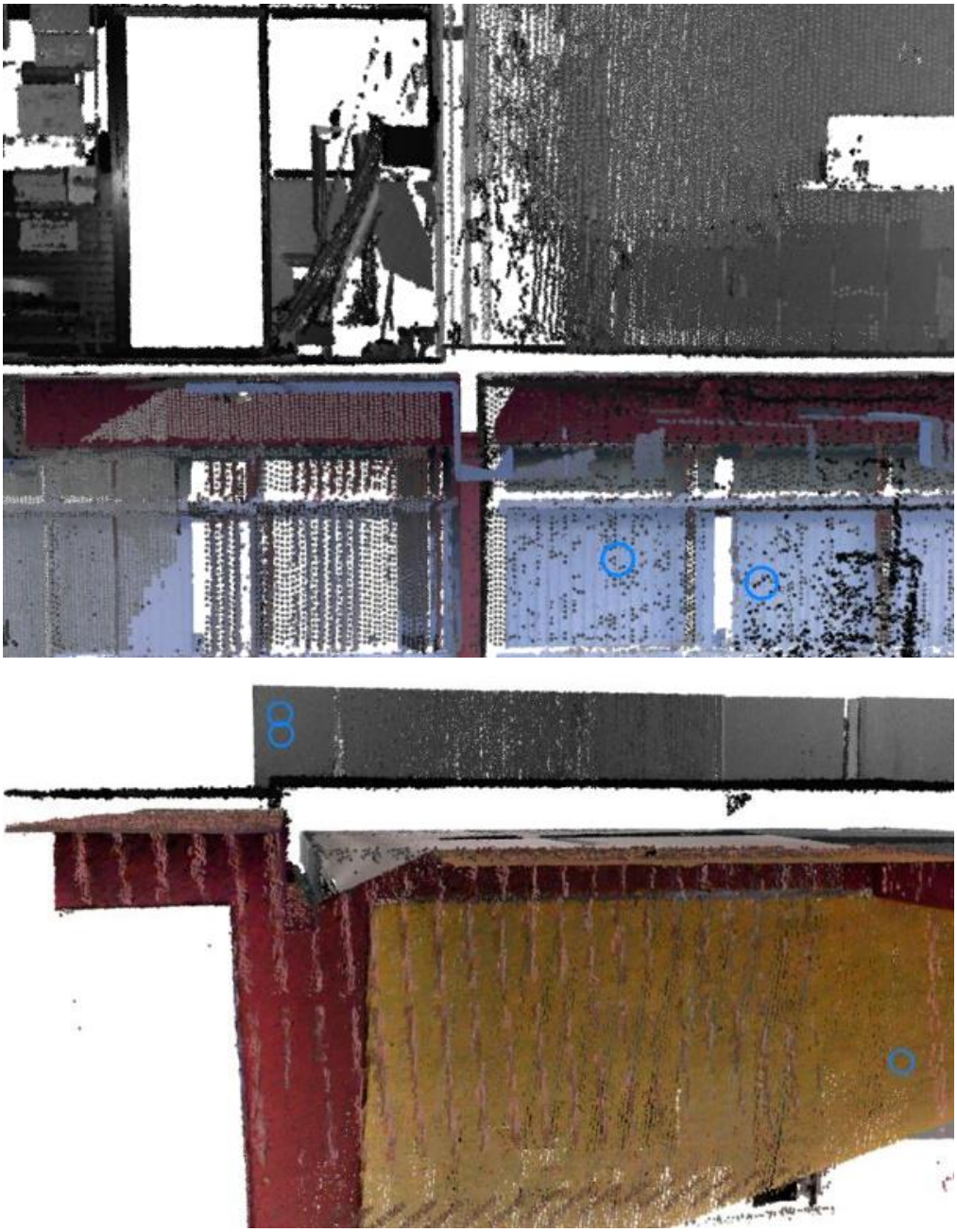


Fonte: LaBIM-SC.

AJUSTE DO MODELO TRANSCRITO COM A NUVEM DE PONTOS

No estudo de caso, houve consideração para ajustar o modelo transcrito, apesar da preferência pela modelagem direta sobre a nuvem de pontos, com base em experiências anteriores. Em ambas as abordagens, é crucial possuir conhecimento sobre formas, características técnicas dos materiais e métodos construtivos [9]. Esses conhecimentos são essenciais, pois as nuvens de pontos consistem principalmente em informações de posição, cor e intensidade de pontos, carecendo de semântica para o reconhecimento automático de entidades paramétricas [5]. Apesar dos avanços dos algoritmos atuais na identificação de alguns elementos, um processo totalmente automatizado de modelagem paramétrica ainda não foi alcançado.

Figura 6 – Detalhes das diferenças de nível nos andares e entre os elementos construídos. (à acima - Diferença de nível interna da edificação) (à abaixo - Espessura das lajes maciças e vigas)

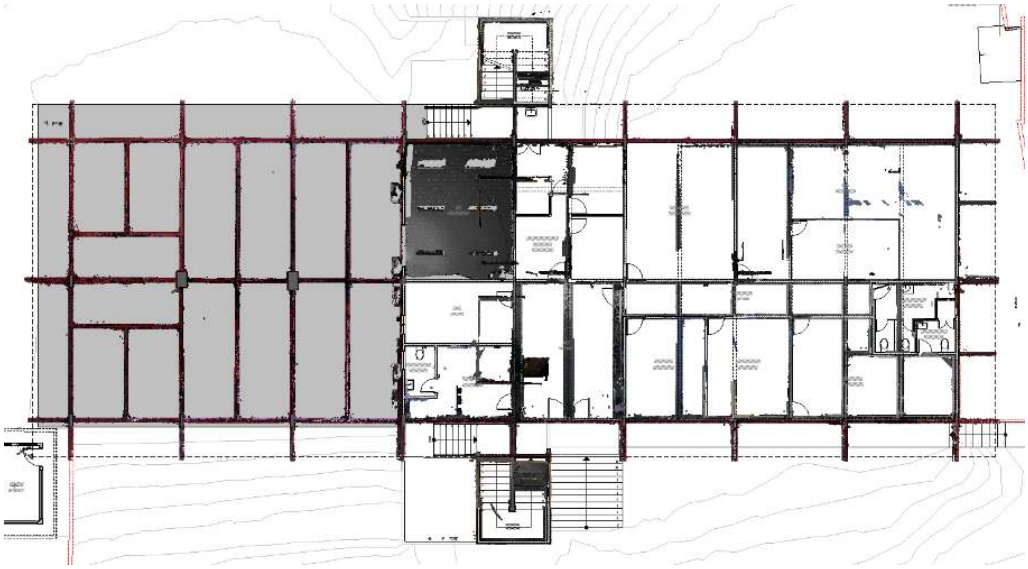


Fonte: LaBIM-SC.

Na Figura 7, visualiza-se um recorte da nuvem de pontos representando a planta baixa da edificação em seu estado atualizado. As curvas de níveis ao redor da nuvem de pontos foram produzidas manualmente no *ArchiCAD* devido à falta de uma funcionalidade comum em muitos softwares de modelagem. Isso contrasta com os softwares da *Bentley*, que geram automaticamente essas curvas a partir da nuvem de pontos ou modelagem automática do terreno. A produção manual das curvas de nível torna o processo mais demorado e tedioso, limitando a adoção da modelagem sobre nuvem de pontos.

Embora a automação *scan-to-BIM*, que envolve a modelagem paramétrica automatizada por meio do reconhecimento semântico da nuvem de pontos, ainda não seja uma realidade, a comunidade científica está trabalhando ativamente para alcançá-la. Essa automação eliminaria um grande obstáculo para a adoção de TLS em ambientes de modelagem.

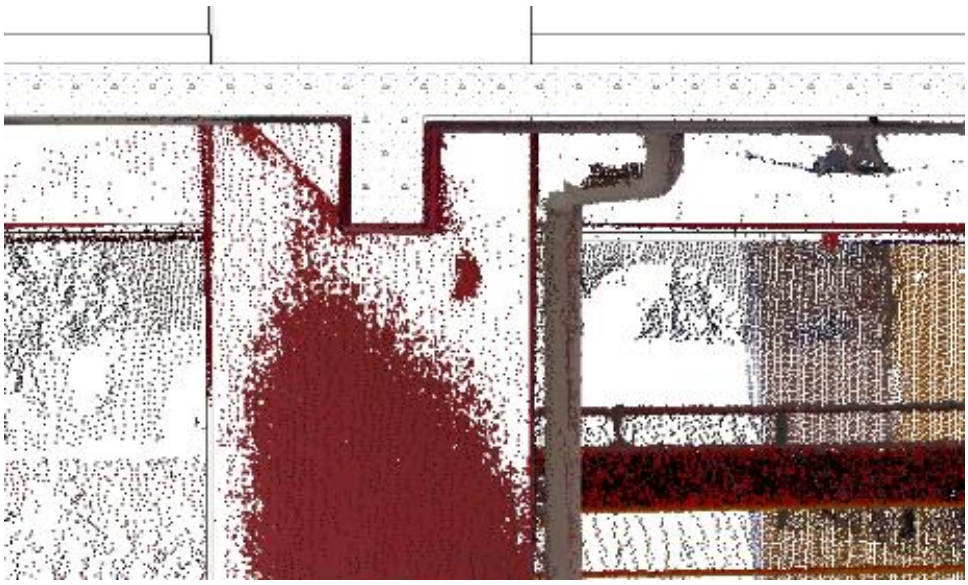
Figura 7 – Planta baixa formada apenas com a nuvem de pontos



Fonte: LaBIM-SC.

Na Figura 8, é evidente a importância de estabelecer tolerâncias devido à diferença entre a laje modelada e a nuvem de pontos. Sem essas tolerâncias, exigir uma modelagem "idêntica" à nuvem de pontos demanda um esforço considerável e, consequentemente, um custo maior. No caso da modelagem do 1°BBM-SC, optou-se por modelar a laje de forma que ela tocasse (sobreponha) a maior área possível da nuvem de pontos, servindo como uma diretriz de modelagem.

Figura 8 – Diferença entre a laje modelada e ajustada com a laje construída levantada pela nuvem de pontos



Fonte: LaBIM-SC.

[14] delineiam três tarefas para modelagem sobre nuvem de pontos. Primeiramente, definir a geometria das entidades, como a forma de paredes ou portas. Em seguida, atribuir categorias de objetos e propriedades de materiais, como identificar se uma porta é de madeira e seu tipo de abertura. Por fim, estabelecer relações entre as entidades, como determinar conexões entre paredes ou associar janelas a paredes específicas. Essas tarefas podem ser realizadas de forma intercalada, não necessariamente sequencialmente.

Após a integração do modelo CAD com a nuvem de pontos do levantamento por TLS, obteve-se um modelo usado para iniciar o estudo de reforma e ampliação do 1º BBM-SC. A atualização do modelo para refletir o estado mais recente de um ativo facilita os estudos de renovação. No entanto, manter o modelo atualizado diante de mudanças, mesmo simples, representa um desafio significativo.

Figura 9 – Modelo ajustado com a nuvem de pontos sobreposto à nuvem de pontos



Fonte: LaBIM-SC.

LIÇÕES APRENDIDAS

O prédio do 1° BBM-SC, com sua estrutura ortogonal e simétrica, facilitou o processo de modelagem, conforme destacado por [16]. No entanto, o risco de pequenas diferenças geométricas entre entidades semelhantes ressalta a importância de estabelecer tolerâncias e outros atributos definidos no Plano de Execução BIM (*BIM Execution Plan* - BEP). Apesar das melhorias necessárias nos softwares *ArchiCAD e Revit* para uma modelagem mais facilitada, como a seleção de regiões específicas da nuvem para modelagem, a dificuldade na seleção de trechos específicos da nuvem e o tamanho dos arquivos de nuvem de pontos ainda podem afetar a performance dos hardwares. No *ArchiCAD* o uso de arquivos ".e57" para modelagem exigiu a divisão da nuvem em partes menores.

O processo de transcrição de CAD para BIM para fins de *as is* revelou-se ineficiente devido à desatualização dos documentos CAD e à imprecisão dos dados e simplificação nos levantamentos tradicionais. As discrepâncias entre o modelo CAD e a nuvem de pontos ressaltam a importância da documentação das diferenças entre a obra e o

projeto, enquanto os desafios na modelagem de espaços entre planos da nuvem de pontos destacam a necessidade de conhecimento em construção. O modelo de *as is*, sujeito a tolerâncias, é crucial para a modelagem, exigindo o uso de uma faixa da nuvem de pontos como referência para o posicionamento dos elementos arquitetônicos e estruturais.

Figura 10 – Modelo ajustado com a nuvem de pontos



Fonte: LaBIM-SC.

O Quadro 1 apresenta as lições aprendidas durante a modelagem com o auxílio da nuvem de pontos. Uma das principais causas de erros de modelagem para todos os casos listados é a inexperiência do modelador/projetista em obras, desde o uso de materiais até técnicas construtivas, o que pode interferir no seu julgamento durante a modelagem [2].

Quadro 1 – Lista das lições aprendidas

Entidades modeladas	Características de modelagem	Tipos de erros na modelagem	Causas dos erros de modelagem	Recomendações Gerais
Terreno	✓ Difícil para representar o relevo do terreno nos softwares que não geram curvas de nível a partir na nuvem de pontos. ✓ Modelagem fácil e rápida quando o software tem funcionalidades para geração de relevo.	✓ Representação simplificada do relevo ignorando detalhes que podem ser importantes.	✓ Falta de definição de quais informações (geométricas e não-geométricas) são necessárias (**idem 1**). ✓ Falta de um Plano de Execução BIM de *as is* (**Idem 2**). ✓ Limitação de softwares utilizados.	✓ Vincular a nuvem de pontos a um levantamento planialtimétrico para os casos de maior precisão na modelagem.
Paredes	✓ Modelagem fácil e rápida.	✓ Erros geométricos, divergências entre o modelo (longe da realidade) e a nuvem de pontos (real, com imperfeições). ✓ Falta de informações não-geométricas. ✓ Excesso de detalhes e informações quando nos casos de demolição.	✓ Falta de atenção pelas características simples das paredes. ✓ Generalização para um único tipo de parede. ✓ Erros na execução da obra, ângulos maiores ou menores que 90°. ✓ **Idem 1**. ✓ **Idem 2**. ✓ Falta de clareza de quais usos são atribuídos às informações (**Idem 3**).	✓ Antes de modelar, é importante avaliar os erros de construção, com base na nuvem, para estabelecer o critério de modelagem das entidades ou objetos.

Fonte: os autores.

Quadro 1 (continuação) – Lista das lições aprendidas

Entidades modeladas	Características de modelagem	Tipos de erros na modelagem	Causas dos erros de modelagem	Recomendações Gerais
Esquadrias padronizadas e repetidas	✓ Modelagem fácil e rápida para esquadrias padronizadas e repetidas. ✓ Modelagem trabalhosa para esquadrias diferentes sem padronização.	✓ Inconsciência nas informações geométricas. ✓ Falta de informações não-geométricas. ✓ Excesso de detalhes e informações quando nos casos de demolição.	✓ Consideração limitada a um único tipo de esquadrias. ✓ Utilização de esquadrias genéricas sem considerar detalhes relevantes. ✓ Ausência de atenção aos detalhes que podem ter sido alterados ao longo do tempo (mudança de acabamento, fechaduras, ferragens). ✓ **Idem 1**. ✓ Ausência de um Plano de Execução BIM para *as is*. ✓ **Idem 2**.	✓ Para casos de demolição, é recomendável generalizar as entidades a serem modeladas, registra-se o tipo de material predominante, como alvenaria cerâmica, bloco de concreto, gesso, madeira, vidro, etc. para composição de custos dos serviços de demolição. ✓ Para reformas, é essencial realizar um levantamento das camadas que compõem paredes, tetos, pisos, lajes, pilares, vigas entre outros, para composição dos custos de reforma. ✓ Estabelecer tolerâncias adequadas. ✓ Determinar quais detalhes geométricos exigem modelagem precisa. ✓ Determinar o nível de informações necessárias que devem estar contidas. ✓ Considerar o tipo de intervenção (demolição, reforma, recuperação, etc.) como um dos critérios para atribuição de informações às entidades. ✓ Avaliar a relação entre o esforço (tempo de modelagem) e a utilidade das informações a serem incluídas nas entidades ou objetos. ✓ Elevado custo de escaneamento e modelagem quando há necessidade de inspeção (perfurações, aberturas ou ensaios não-destrutivos) visando identificar níveis, espessuras e materiais. ✓ Utilizar softwares com recursos que facilitem o processo de modelagem.
Pisos	✓ Modelagem fácil e rápida da superfície e da paginação.	✓ Erros geométricos, divergências entre o modelo (simplificação ou generalização) e a nuvem de pontos (real, tipos diversos de pisos/materiais).	✓ Falta de atenção pelas características simples de modelagem dos pisos. ✓ Generalização para um único tipo de piso. ✓ Erros na execução da obra, desníveis entre pisos (entre ambientes). ✓ **Idem 1**. ✓ **Idem 2**.	
Forro e Fundo de laje	✓ Modela fácil e rápida do fundo de laje lisa (laje maciça ou pré-moldada). ✓ Modelagem difícil e limitada do fundo de laje quando da existência de forro. ✓ O grau de dificuldade de modelagem do forro depende do tipo de intervenção e do nível de detalhes que ele possui.	✓ Erros geométricos no forro devido a divergências entre o modelo (simplificado ou generalizado) e a nuvem de pontos (real, com diversos tipos de forro/materiais). ✓ Erros geométricos na laje devido à falta de informações de as-built, como materiais e espessuras. Uma possível solução seria a realização de furos para identificar as camadas e generalizar os materiais usados.	✓ Generalização para um único tipo de forro ou laje. ✓ Na modelagem do fundo da laje, não identificar mudança de altura entre ambientes por estar escondido no forro. ✓ Dificuldade de se realizar testes ou furações. ✓ **Idem 1**. ✓ **Idem 2**.	
Pilares e vigas	✓ Modela fácil e rápida quando os pilares e/ou vigas estão destacados ou aparentes. ✓ Modelagem difícil e limitada quando não se tem informações da execução (projetos de as-built).	✓ Erros geométricos, divergências entre o modelo (longe da realidade) e a nuvem de pontos (real, com imperfeições); ✓ Erros geométricos de pilares e vigas para estruturas embutidas.	✓ Generalização para um único tipo de seção de pilares e vigas. ✓ Na modelagem não identificar mudança de altura entre vigas. ✓ Falta de informações de projeto executivo estrutural. ✓ Dificuldade de realizar testes ou retirar imagens termográficas. ✓ **Idem 2**.	

Fonte: os autores.

CONCLUSÕES

O estudo de caso realizado no 1° Batalhão de Bombeiros Militar de SC destaca a relevância crescente do escaneamento a laser para o inventário de ativos construídos, conforme [17]. Contudo, persistem desafios da modelagem e dos softwares em representar objetos de construção de uma forma geometricamente generalizada e ortogonal [21], os custos ainda elevados do TLS, exigência de especialização e

limitações tecnológicas, incluindo a identificação semântica de entidades para uma modelagem paramétrica eficiente. Pesquisadores [12] exploraram o uso de dados sintéticos para treinar modelos de *Deep Learning*, visando automatizar o processo *scan-to-BIM* de nuvens de pontos de TLS. Com avanços contínuos, impulsionados por algoritmos e fabricantes de equipamentos de TLS, espera-se que profissionais da indústria AECO possam beneficiar-se da automação resultante.

Apesar da modelagem manual em softwares BIM sobre nuvem de pontos ser demorada, sua precisão é superior ao processo tradicional *as is*. A tecnologia TLS permite medidas e reconhecimento de materiais, mas gera arquivos grandes que sobrecarregam os softwares BIM, exigindo hardware de alto desempenho. É crucial especificar os níveis de informação para a modelagem, considerando o detalhamento das entidades [12].

Por fim, destaca-se a necessidade de um estudo mais aprofundado sobre a definição das tolerâncias para a modelagem de *as is* com o uso de nuvem de pontos por captura da realidade por TLS. Nesta pesquisa, apenas diretrizes foram apresentadas para algumas entidades, mas seria importante realizar uma análise mais detalhada para estabelecer critérios de tolerância adequados.

REFERÊNCIAS

[1] AL-KASASBEH, Maha; ABUDAYYEH, Osama; LIU, Hexu. An integrated decision support system for building asset management based on BIM and Work Breakdown Structure. **Journal of Building Engineering**, v. 34, p. 101959, 2021.

[2] ESFAHANI, Mansour Esnaashary et al. Quantitative investigation on the accuracy and precision of Scan-to-BIM under different modelling scenarios. **Automation in Construction**, v. 126, p. 103686, 2021.

[3] VOLK, Rebekka; STENGEL, Julian; SCHULTMANN, Frank. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs. **Automation in construction**, v. 38, p. 109-127, 2014.

[4] JOBLOT, Laurent et al. Industry 4.0 and BIM: Do They Share the Same Objectives?. In: **Advances on Mechanics, Design Engineering and Manufacturing III: Proceedings of the International Joint Conference on Mechanics, Design Engineering & Advanced Manufacturing, JCM 2020, June 2-4, 2020**. Springer International Publishing, 2021. p. 412-418.

[5] ARYAN, Afrooz; BOSCHÉ, Frédéric; TANG, Pingbo. Planning for terrestrial laser scanning in construction: A review. **Automation in Construction**, v. 125, p. 103551, 2021.

[6] MOYANO, Juan et al. Operability of point cloud data in an architectural heritage information model. **International Journal of Architectural Heritage**, v. 16, n. 10, p. 1588-1607, 2022.

[7] ABBATE, Emilio; INVERNIZZI, Stefano; SPANÒ, Antonia. HBIM parametric modelling from clouds to perform structural analyses based on finite elements: A case study on a parabolic concrete vault. **Applied Geomatics**, v. 14, n. Suppl 1, p. 79-96, 2022.

[8] LI, Dongsheng et al. Towards automated extraction for terrestrial laser scanning data of building components based on panorama and deep learning. **Journal of Building Engineering**, v. 50, p. 104106, 2022.

[9] TANG, Pingbo et al. Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. **Automation in construction**, v. 19, n. 7, p. 829-843, 2010.

[10] GIEL, B.; ISSA, R. R. A. Using laser scanning to access the accuracy of as-built BIM. In: **Computing in Civil Engineering (2011)**. 2011. p. 665-672.

[11] ALSHAWABKEH, Yahya; BAIK, Ahmad; MIKY, Yehia. Integration of laser scanner and photogrammetry for heritage BIM enhancement. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 10, n. 5, p. 316, 2021.

[12] MORBIDONI, Christian et al. Learning from synthetic point cloud data for historical buildings semantic segmentation. **Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)**, v. 13, n. 4, p. 1-16, 2020.

[13] TOMASELLO, Nicoletta & RUSSO, Giuseppe & CAPORLINGUA, Massimo & CASCONE, Stefano. (2018). Use of the Bim Methodology for the Maintenance and Valorisation of Historical and Architectural Heritage: The Case Study of the Jesuits College in Catania. April 2018. **Conference: 4a Biennale del Restauro Architettonico e UrbanoAt**: Catania.

[14] DINIS, Fabio Matoseiro et al. Improving project communication in the architecture, engineering and construction industry: Coupling virtual reality and laser scanning. **Journal of Building Engineering**, v. 30, p. 101287, 2020.

[15] LEMAIRE, Clément et al. Analyzing BIM topics and clusters through ten years of scientific publications. **Journal of Information Technology in Construction (ITcon), Special Issue Architectural Informatics**, v. 24, p. 273-298, 2019.

[16] SARMIENTO, Juan Corso et al. SCAN to BIM beyond a Final BIM: Why, When and How. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2019. p. 042090.

[17] BADENKO, Vladimir; VOLGIN, Dmitry; LYTKIN, Sergey. Deformation monitoring using laser scanned point clouds and BIM. In: **MATEC Web of Conferences**. EDP Sciences, 2018. p. 01002.

[18] YIN, Robert. **Case Study Research: design and methods**. 5 ed. Thousand Oaks, CA: Sage, 2014.

[19] ASTM American Society for Testing and Materials. **ASTM E2807-11(2019), Standard Specification for 3D Imaging Data Exchange, Version 1.0,** ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, www.astm.org.

[20] GOVERNO, DO ESTADO DE SANTA CATARINA. Caderno de especificações de projetos em BIM. **Santa Catarina: Secretaria de Estado do Planejamento**, 2018.

[21] JARZĄBEK-RYCHARD, Małgorzata; MAAS, H.-G. Modeling of 3D geometry uncertainty in scan-to-BIM automatic indoor reconstruction. **Automation in Construction**, v. 154, p. 105002, 2023.