

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

ANDRÉ BRUM RIVOIRE

**USO DE HBIM PARA MODELAGEM TRIDIMENSIONAL E REGISTRO DO
ESTADO DE CONSERVAÇÃO DO CASTELINHO/UFRGS**

Porto Alegre
2022

ANDRÉ BRUM RIVOIRE

**USO DE HBIM PARA MODELAGEM TRIDIMENSIONAL E REGISTRO DO
ESTADO DE CONSERVAÇÃO DO CASTELINHO/UFRGS**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da UFRGS, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadoras: Prof. Dra. Laís Zucchetti
Prof. Dra. Fernanda Lamego Guerra

Porto Alegre
2022

ANDRÉ BRUM RIVOIRE

**USO DE HBIM PARA MODELAGEM TRIDIMENSIONAL E REGISTRO DO
ESTADO DE CONSERVAÇÃO DO CASTELINHO/UFRGS**

Trabalho de Diplomação apresentado ao
Departamento de Engenharia Civil da
UFRGS, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheiro Civil.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Lais Zucchetti

Prof. Dra. Fernanda Lamego Guerra

Engenheira Civil Graciela Verdum

Me. Maxwell Klein Degen

AGRADECIMENTOS

Foi uma jornada difícil, com altos e baixos a percorrer, uma pandemia em meio a tudo, questões políticas e pessoais agregadas tornou este trabalho de conclusão de curso uma das experiências mais desafiadoras que já tive que enfrentar.

Apesar disto, da situação e dos obstáculos, sempre mantive a cabeça erguida e não seria possível fazer isso sozinho. Tenho muitos a agradecer pelo apoio. Agradeço a meu pai, por me apoiar e estar presente quando eu preciso e me dar espaço quando necessito. Agradeço a minha mãe, por me dar puxões de orelha quando eu precisava focar. Agradeço ao meu irmão, por se fazer presente quando precisava de um apoio. Agradeço aos meus amigos, por suportarem me ouvir que precisava terminar meu TCC. Agradeço a Pê, uma pessoa especial pra mim que nunca me deixou desistir, mesmo quando eu estava no meu mais baixo. Por fim, agradeço às minhas orientadoras, por sempre me motivarem a ir pra frente e enfrentar a pesquisa da qual eu tive prazer de fazer ao lado delas.

"Conhecendo tanto a derrota quanto a vitória, andando por aí derramando lágrimas,
É assim que você se torna um verdadeiro homem."

Shanks - Eiichiro Oda

RESUMO

No ano de 2022, Porto Alegre completou 250 anos de história. É uma capital onde ainda existem várias construções históricas com mais de uma centena de anos. Em momentos onde verifica-se a destruição de algumas edificações históricas famosas, como o Museu Histórico Nacional do Rio de Janeiro em 2018 e a Catedral de Notre Dame na França em 2019, é uma possibilidade procurar meios para facilitar uma possível reconstrução e manutenção em caso de uma tragédia. O objetivo do presente estudo é utilizar conjuntamente a metodologia *Building Information Modelling* (BIM) e de nuvens de pontos, uma ferramenta da metodologia *Historical Building Information Modelling*(HBIM), para o registro digital do prédio Castelinho/NORIE/ UFRGS, testando sua aplicação para o levantamento de degradação das superfícies desta edificação. Para isso, foram levantadas as áreas externas do prédio Castelinho, voltadas para o interior do Largo Paganini na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) em Porto Alegre-RS. Foi possível, através da utilização de documentação existente e de registro fotográfico com drone georreferenciado, criar uma nuvem de pontos e gerar um modelo tridimensional, onde testou-se a demarcação de áreas de degradação da edificação em estudo. Para isso, foram utilizados os softwares *Autodesk Revit*[®] e *Agisoft Metashape*[®]. Os resultados encontrados demonstram a potencialidade da realização do levantamento e coleta de dados em locais de difícil acesso através da utilização de drone, as limitações encontradas na compatibilização entre diferentes softwares, a aplicabilidade potencial da fotogrametria aliada ao BIM como ferramenta para registro e acompanhamento da degradação de edificações, mostrando, assim, a possibilidade de contribuição para o acervo de informações a respeito de bens patrimoniais de interesse histórico e social.

Palavras chave: HBIM; Nuvem de Pontos; Modelo; Degradação.

ABSTRACT

In the year of 2022, the city of Porto Alegre just completed 250 years of history, and it's a capital where it still have a significant amount of historical constructions that ranges more than a century of a life-span. In moments that we see the destruction of famous buildings, like the Museu historico nacional do Rio de Janeiro in 2018 and the cathedral of Notre Dame in France in 2019, it's a possibility to look for ways to make reconstruction and maintenance easier than now in case of tragedy. The objective of this study is to utilize procedures from the unification of the Building Information Modelling (BIM) method and the process of point cloud, that generates the Historical Building Information Modelling (HBIM), to create a digital record of the Castelinho/NORIE/UFRGS Building, testing its application of data gathering of degradation area on the exterior surface of the Castelinho. To do that, it was gathered intel from the exterior facing the Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) interior, to the Largo Paganini in Porto Alegre - RS. It was possible, through existing documents and photographic record with air drone, to create a point cloud and a representative tridimensional model of the building, where it was tested the mapping of degradation areas for the study. To do that, the softwares Autodesk Revit® and Agisoft Metashape® were utilized. The outcome demonstrate the potenciality of gathering data in places of no easy access without the drone, the limitations found in compatibilization between softwares, the potencial aplicability of photogrametry allied to BIM as a tool for Record and follow up in degradation of edifications discipline, showing the possibility of contribution to the info collection when talking about patrimonial property that have historical and social interest.

Key-words: *HBIM; Point Cloud; Model; Degradation.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Prédio Castelinho (UFRGS).....	15
Figura 2 - Localização do Prédio e Laterais	16
Figura 3 - Lateral Sul.....	17
Figura 4 - Lateral Leste	17
Figura 5 - Lateral Oeste	18
Figura 6 - Exemplo Gráfico de LOD	22
Figura 7 - Exemplo de Nuvem de Pontos.....	23
Figura 8 - Mapeamento visual de degradação	24
Figura 9 - Fluxograma	27
Figura 10 - Exemplo de janelas representadas no AutoCAD	28
Figura 11 - Plantas Baixa e Cortes inseridos no REVIT®	30
Figura 12 - Plantas Baixa e Cortes inseridos no REVIT®	31
Figura 13 - Parede Modelo "Cebola"	32
Figura 14 - Parede In loco transformada em família	33
Figura 15 - Janelas modeladas conforme plantas (Fachada Sul)	34
Figura 16 - Janelas modeladas conforme Plantas (Fachada Sul).....	35
Figura 17 - Captura das imagens com drone	36
Figura 18 - Captura das Imagens com drone.....	37
Figura 19 - Foto capturada pelo drone mapeada	38
Figura 20 - Foto capturada pelo drone mapeada	38
Figura 21 - Fotografia capturada de modo aleatório.	39
Figura 22 - Fotografia capturada de modo aleatório	39
Figura 23 - Perspectiva do Modelo.....	40
Figura 24 - Lateral SUL	40
Figura 25 - Lateral LESTE.....	41
Figura 26 - Lateral OESTE	41
Figura 27 - Sparse Cloud	43
Figura 28 - Sparse Cloud	44
Figura 29 - <i>Dense Cloud</i>	44
Figura 30 - <i>Dense Cloud</i>	45
Figura 31 - <i>Mesh</i> Sombreado.....	46

Figura 32 - <i>Mesh</i> Sólido	46
Figura 33 - <i>Textured Mesh</i>	47
Figura 34- <i>Textured Mesh</i>	47
Figura 35 - Reconstrução como malha pelo software Metashape®	48
Figura 36 - Fachada em foto capturada por drone	48
Figura 37 - Reconstrução como malha pelo software <i>Metashape</i> ®	49
Figura 38 - Fachada em foto capturada por drone	49
Figura 39 - Reconstrução como malha pelo software Metashape®	50
Figura 40 - Fachada em foto capturada por drone	50
Figura 41 - Fluxo de trabalho	51
Figura 42 - Primeira interação do modelo com a nuvem de pontos	52
Figura 43 - Nuvem de pontos exportadas em formato .txt	53
Figura 44 - Nuvem de pontos exportadas em formato.e57	53
Figura 45 - Modelo 3D da volumetria do castelinho	54
Figura 46 - Nuvem de pontos posicionada no entornodo modelo em formato .e57 ..	54
Figura 47 - Modelo 3D com a lateral Sul planificada	54
Figura 48 - Nuvem de pontos posicionada junto coma fachada sul planificada em formato .e57	54
Figura 49 - Modelo 3D com lateral sul e oeste visíveis	54
Figura 50 - Nuvem de pontos posicionada com foco nas Laterais sul e oeste em formato .e57	54
Figura 51 - Nuvem de Pontos acoplado com o Modelo.....	56
Figura 52 - Nuvem de pontos e Modelo Lateral Leste.....	56
Figura 53 - Nuvem de Pontos e Modelo Lateral Sul.....	57
Figura 54 - Nuvem de Pontos e Modelo Lateral Oeste e Sul	57
Figura 55 - <i>Dense Cloud</i> Classes sem Preenchimento	58
Figura 56- Área degradada Danos do Telhado antes de serem filtrados	59
Figura 57 - Danos do Telhado após filtragem de pontos.....	60
Figura 58 - Área degradada do Telhado e Mesh para referência.....	61
Figura 59 - Área degradada das Paredes e Mesh para referência.....	62
Figura 60 - Área degradada dos Ornamentos	63
Figura 61 - Áreas Degradadas	64
Figura 62 - Superfície Total.....	64

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA.....	13
1.2. OBJETIVOS DA PESQUISA.....	14
1.2.1. Objetivo geral	14
1.2.2. Objetivos específicos	14
1.3. JUSTIFICATIVA	14
2. CASO DE ESTUDO	15
2.1. CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	15
2.2. DELIMITAÇÕES DA ÁREA DE ESTUDO	16
2.3. LIMITES DO ESTUDO.....	19
2.3.1. Definição operacional das variáveis	19
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3.1. BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM)	20
3.2. LEVEL OF DEVELOPMENT (LOD)	20
3.3. FOTOGRAMETRIA POR DRONE	22
3.4. NUVEM DE PONTOS.....	23
3.5. ÁREA DE DEGRADAÇÃO.....	24
3.6. <i>HISTORIC BUILDING INFORMATION MODELLING (HBIM)</i>	24
4. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO	25
4.1. ETAPA 1 – COLETA DE DADOS.....	28
4.2. ETAPA 2 – MODELAGEM 3D.....	30
4.2.1. Representação do modelo de alvenarias	31
4.2.2. Esquadrias / Janelas	34
4.3. ETAPA 3 – FOTOGRAMETRIA	35
4.3.1. Fotografias mapeadas	37
4.3.2. Fotografias aleatórias	39
5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	40
5.1. MODELO GERADO NO REVIT	40
5.2. ETAPA 4 – NUVEM DE PONTOS.....	42
5.2.1. Geração de Relatórios	42
5.2.2. Nuvem de Pontos (Sparse Cloud)	43

5.3. ETAPA 5 - HBIM	51
5.4. ETAPA 6 – DEMARCAÇÃO DE ÁREAS DE DEGRADAÇÃO	58
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65

1. INTRODUÇÃO

A Engenharia, desde sua concepção, passou por vários estágios, dos registros em papel até o primeiro uso elaborado em computador. Um destes marcos foi a criação da metodologia *Building Information Modelling* (BIM) baseada na *Building Description System* (BDS), criada por Eastman, com a colaboração de outros pesquisadores nos anos 70 com a colaboração de outras pessoas, e posteriormente aperfeiçoada e renomeada para BIM por Nederveen *et al.*(1992). Derivado desse Conceito, uma metodologia que vem ganhando relevância no mercado e na academia é o Heritage/Historical Building Information Modeling, ou HBIM, (SILVA; CUPERSCHMID, 2019). O HBIM foi definido por Murphy, MCGovern e Pavia (2009) como “um sistema interativo que combina a construção de bibliotecas paramétricas de forma que o mapeamento de nuvem de pontos é requerido para modelar os formatos mais complexos encontrados em construções históricas”. Vários estudos estão sendo realizados no exterior e no Brasil, investigando as melhorias que o HBIM pode trazer para a preservação de edificações históricas (SILVA; CUPERSCHMID, 2019; OLIVEIRA; ZANONI; PELLEGRINO, 2022; BARRETO; GROETELAARS, 2022; ZANELLA; CONCEIÇÃO; PIERRI; CAMPEDELLI, 2022).

Em relação aos prédios históricos, o HBIM permite que a gestão dos bens seja realizada de forma eficaz, com agilidade na geração da documentação, auxiliando na preservação do patrimônio cultural de forma mais efetiva (TOLENTINO, 2016). A opção por utilizar o HBIM para construções históricas pode ser exemplificado por Canuto e Salgado (2020), que falam sobre o incêndio do Museu Histórico Nacional do Rio de Janeiro: “Caso existisse um modelo dessa natureza para o Museu, o processo de reconstrução após o incêndio, ocorrido em setembro de 2018, seria facilitado pelo registro original da edificação. Assim, são inúmeras as oportunidades oferecidas pelo HBIM”.

Os Prédios históricos, pela definição do Setor de Prédios Históricos (SPH) dentro da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) são:

Edificações de expressivo valor histórico-cultural no contexto urbano da cidade de Porto Alegre. Nele convivem duas gerações históricas e artísticas de edificações dos séculos XIX e XX, que expressam tanto a

gênese da UFRGS (sendo o berço de seus primeiros cursos) como edificações que marcam, posteriormente, a busca da instituição pela excelência acadêmica, materializada nos princípios do ensino, da pesquisa e da extensão (Site SPH/UFRGS, acesso em 12/09/2022).

A edificação objeto de estudo deste trabalho de conclusão de curso é o Castelinho, localizado no Campus Centro da UFRGS, em Porto Alegre. O edifício tem 114 anos de existência, faz parte do conjunto de prédios históricos da Universidade e foi projetado pelo Eng. Manoel Barbosa Assumpção Itaquí.

De acordo com o Setor de patrimônio histórico da UFRGS, dentro do Largo Paganini, encontra-se um conjunto de três prédios, formado pelo Château, Castelinho e Observatório Astronômico. Em 1906 começou a construção de dois destes três prédios: o Observatório e o Castelinho, ambos ligados à Escola de Engenharia e também ligados ao Instituto Técnico-Profissional, depois conhecido como Instituto Parobé. As dependências do Castelinho também foram usadas pela Biblioteca Central a partir de 1928, até 1972, quando foi transformado no Departamento de Energia Nuclear da Escola de Engenharia, até ser desativado por tempo indeterminado em 1989. Por fim, ele passou por um processo de reforma e restauro em 1993 e em 1996 foi ocupado pelo Núcleo Orientado para Inovação da Edificação (NORIE).

O presente estudo busca criar um modelo digital do prédio Castelinho, utilizando para isso o HBIM, a partir da utilização de tecnologia de nuvem de pontos, realizando um levantamento do seu estado de conservação atual. Com base neste modelo, é possível gerar a documentação digital, permitindo o desenvolvimento de simulações, acompanhamento de manutenções, acompanhamento da evolução da degradação, fornecendo informações para futuras intervenções.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Como proceder para modelar uma edificação histórica existente, neste caso o prédio do Castelinho da UFRGS, de forma a ser possível o registro de dados sobre ocorrências de degradação em um modelo tridimensional, utilizando a metodologia HBIM?

1.2. OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos do presente trabalho foram divididos em objetivo geral e objetivos específicos, os quais são apresentados a seguir.

1.2.1. Objetivo geral

Obter um modelo tridimensional do Castelinho, prédio da UFRGS, Porto Alegre - RS, com uso da metodologia HBIM, e demonstrar o potencial para o registro de dados de degradação das superfícies externas.

1.2.2. Objetivos específicos

- Criar nuvem de pontos da envoltória do edifício em estudo utilizando fotogrametria geolocalizada feitas através de drone;
- Realizar a modelagem 3D do Castelinho;
- Unificar os dados obtidos pela nuvem de pontos com o modelo 3D para criação do HBIM;
- Analisar o resultado e criar demarcação de algumas áreas de degradação;

1.3. JUSTIFICATIVA

A proposta de utilização de metodologia HBIM para composição de modelos tridimensionais de edificações históricas, justifica-se pela dificuldade, muitas vezes encontrada, de obterem-se dados de edificações devido à complexidade ou periculosidade de acesso na etapa de levantamento, podendo acarretar em demora, falta de segurança e pouca precisão para a realização de uma análise confiável.

Desta forma, a obtenção de dados de prédios através da tecnologia sugerida garante maior precisão, com maior detalhamento e segurança para elaboração de projetos de recuperação e restauração destas construções.

2. CASO DE ESTUDO

Neste capítulo apresenta-se o objeto estudado, limites e delimitações para a realização do estudo.

2.1. CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada no prédio histórico da UFRGS, conhecido como Castelinho (Figura 1), localizado na Praça Argentina s/n, Campus Centro – 1º Quarteirão, no município de Porto Alegre, estado do Rio Grande do Sul, sendo autor do projeto o Eng. Manoel Barbosa Assumpção Itaqui, projeto elaborado em 1906 e prédio construído entre 1906 e 1908, com 552m², onde funciona o Núcleo orientado para Inovação da edificação (NORIE), e se trata de um mapeamento de algumas fachadas para determinação e registro dos danos visíveis em sua superfície.

Figura 1 - Prédio Castelinho (UFRGS)



Fonte: Setor de Patrimônio Histórico da UFRGS (2022)

2.2. DELIMITAÇÕES DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo correspondeu à envoltória da edificação, o que inclui as fachadas voltadas para o interior da UFRGS e cobertura, que serão denominadas de Lateral SUL, Lateral LESTE, e Lateral OESTE como visto na Figura 2. A fachada de orientação norte não foi incluída neste estudo por dificuldade de operacionalização do equipamento utilizado no levantamento (drone) em área externa aos limites da Universidade.

Figura 2 - Localização do Prédio e Laterais



Fonte: Google Maps (2022)

A área da fachada Lateral SUL possui aproximadamente 232,57 m², sendo revestida por argamassa e pintura na cor amarela, possuindo janela, vitrôs, portas, ornamentos e parte do telhado, conforme mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Lateral Sul



Fonte: Google Maps (2022)

A área da fachada Lateral LESTE possui aproximadamente 116,67m² é revestida por argamassa e pintura na cor amarela, possuindo janelas, vitrôs, ornamentos e parte do telhado, conforme mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Lateral Leste



Fonte: Google Maps (2022)

Por fim, A área da Lateral OESTE possui aproximadamente 119,09m² é também revestida por argamassa e pintura na cor amarela, possuindo janelas, vitrôs, portas, ornamentos e parte do telhado, conforme mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Lateral Oeste



Fonte: Setor de Patrimônio Histórico da UFRGS, adaptada (2022)

2.3. LIMITES DO ESTUDO

O estudo foi limitado pelos seguintes procedimentos:

As laterais SUL, LESTE e OESTE descritas no item 2.1 foram analisadas inicialmente através de fotos capturadas por drone que foram inseridas no software AGISOFT Metashape[®] para obtenção de nuvem de pontos. Unindo-se os dois procedimentos anteriores foi criado o HBIM das laterais de estudo para estudo do potencial de aplicação para registro de danos da edificação.

A modelagem 3D do prédio foi realizada através de plantas em AutoCAD que foram inseridas no REVIT[®]. As nuvens de pontos foram feitas com:

- Alinhamento na qualidade *highest*;
- *Dense Cloud* na qualidade *highest* e filtro *mild*;
- Modelo de Mesh baseado na *Dense Cloud* com qualidade *highest* e filtro *mild*;

Todas estas informações sobre a nuvem encontram-se no Anexo I.

Destaca-se também a máquina para criação da nuvem de pontos, um notebook cedido pelo NORIE com as especificações abaixo:

- Intel Core I7;
- Nvidia GTX 1650;
- 1 TB HD + 128 GB SSD;
- 16 GB memória RAM;

2.3.1. Definição operacional das variáveis

Como variáveis pode-se citar a tentativa de padronizar a posição da câmera fotográfica do drone, adicionando aleatoriedade na nuvem de pontos, sendo que a aleatoriedade de pontos focais de fotos e de ângulos são benéficas para o estudo, pois as fotos são georreferenciadas e o drone mapeia corretamente a inclinação da câmera, colocando a informação na foto.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Conforme necessidade de base teórica para este trabalho, este capítulo aborda algumas informações que serviram para embasamento da pesquisa, conforme descrito a seguir.

3.1. BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM)

A metodologia *Building Information Modelling*, como dito por Gaspar e Ruschel (2017), surgiu em 1992 por Nederveen e Tolman, e durante os anos teve várias evoluções, porém o conceito por trás de BIM permaneceu o mesmo, como visto por Eastman *et al.*(2014). O BIM é uma tecnologia de modelagem conjunta com grupos atrelados aos processos de produção, comunicação e análise do modelo de construção. Para Penttilä (2007) BIM é o projeto digital integrado que forma o gerenciamento base de informação para todos os projetos de colaboração durante o tempo de vida do design/construção/manutenção da edificação.

Vendo essas duas definições, nota-se que existe uma semelhança entre elas. As duas tratam sobre o BIM como a colaboração de diversas equipes para o gerenciamento de um único modelo de projeto digital.

3.2. LEVEL OF DEVELOPMENT (LOD)

Level of Development (LOD) ou Nível de desenvolvimento (ND) é um padrão de referência para profissionais praticantes da metodologia BIM criado pelo American Institute of Architects (AIA) e atualizado anualmente pelo BIMFórum. De acordo com Oliveira, Zanoni e Pelegrino (2022):

“O LOD define e ilustra as características dos elementos do modelo de diferentes sistemas de construção em diferentes níveis de desenvolvimento. Essa articulação clara permite que os autores estabeleçam em que nível seus modelos podem ser confiáveis e possibilita aos usuários o entendimento da usabilidade e as limitações dos modelos gerados.”

Os conceitos de LOD definidos pelo BIMFórum (2021) e pela AIA (2013) são divididos em várias categorias separadas pelo tipo de objeto de parâmetro, como por exemplo escadas, janelas, portas, etc. Ainda assim, a AIA e o BIMFórum têm uma definição fundamental para cada nível de LODs:

Quadro 1 - Conceitos de Level of Development (LOD)

LOD	AIA (2013)	BIMForum (2021)
LOD 100	O modelo elemento deve ser representado graficamente por um símbolo ou outra representação genérica, mas não satisfaz os requerimentos para LOD 200. Informação relacionada ao elemento modelo (exemplo custo/m ²) pode derivar de outros modelos.	Elementos de LOD 100 não são representações geométricas. Como exemplos são as informações atreladas a outros modelos ou símbolos mostrando a existência do componente, mas não seu formato, tamanho, ou localização precisa. Qualquer informação derivada de elementos LOD 100 deve ser considerada aproximada.
LOD 200	O elemento modelo é graficamente representado como um sistema genérico, objeto, ou assimilação com quantidades aproximadas, formato, tamanho, localização e orientação. Informação não-gráfica pode estar atreladas ao modelo.	Para este LOD elementos são genéricos. Eles podem ser conhecidos como os componentes que representam, ou podem ter volumes para reserva de espaço. Qualquer informação derivada de elementos LOD 200 deve ser considerada aproximada.
LOD 300	O elemento modelo é representado graficamente como um sistema específico, objeto ou assimilado em termos de quantidade, tamanho, forma, localização e orientação. Informação não-gráfica pode estar atreladas ao modelo;	A quantidade, tamanho, formato, localização e orientação do elemento como desenhado deve ser medida diretamente pelo modelo sem referenciar informação de fora do modelo. A origem do projeto é definida e o elemento é localizado de maneira com acurácia a origem do projeto.
LOD 350	O elemento modelo é representado graficamente como um sistema específico, objeto ou assimilado em termos de quantidade, tamanho, forma, localização, orientação e interfaces com outros sistemas de construção. Informação não-gráfica pode estar atreladas ao modelo	Partes necessárias para coordenação do elemento com outros pertos ou sobrepostos devem ser modeladas. Essas partes devem incluir itens como suportes e conexões. A quantidade, tamanho, formato, localização e orientação do elemento como desenhado devem poder ser medidas diretamente pelo modelo sem referenciar informação de fora do modelo.
LOD 400	O elemento modelo é representado graficamente como um sistema específico, objeto ou assimilado em termos de quantidade, tamanho, forma, localização, orientação com detalhamento, fabricação, montagem e informações de instalação. Informação não-gráfica pode estar atreladas ao modelo;	Um elemento LOD 400 é modelado com detalhe e acurácia suficiente para fabricação do componente representado. A quantidade, tamanho, formato, localização e orientação do elemento como desenhado podem ser medidas diretamente do modelo sem referenciar informação de fora do modelo.
LOD 500	O elemento modelo é representado graficamente de modo in loco em termos de quantidade, tamanho, forma, localização e orientação. Informação não-gráfica pode estar atrelado ao modelo;	Como LOD 500 relaciona para verificação de campo e não uma progressão para um modelo geométrico ou informação não-gráfica, essa especificação não define ou ilustra o modelo de construção, apenas peças já construídas.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em AIA (2013) e BIMForum (2021).

Com esta definição, e levando em conta o trabalho produzido, temos como base para este trabalho um arquivo modelado no REVIT[®] considerado um LOD 200 e a nuvem de pontos considerada LOD 500, visto que é um levantamento fidedigno de quantidade, tamanho, forma, localização e orientação. Exemplo na Figura 6.

Figura 6 - Exemplo Gráfico de LOD



Fonte: <https://biblus.accasoftware.com/ptb/lod-e-loin-no-bim-o-que-sao-e-para-que-servem/>
Acesso em setembro/2022.

3.3. FOTOGRAMETRIA POR DRONE

Fotogrametria, de acordo com ASP (1966, apud TEMBA, 2000, p.2) “é a arte, ciência e tecnologia de obter informações de confiança sobre os objetos e do meio ambiente com uso de processos de registro, medições e interpretações das imagens fotográficas”.

Como exemplificado por Canuto e Salgado (2016), a fotogrametria passou a ser adotada nos levantamentos arquitetônicos para a geração de modelos digitais 3D com a universalização da foto digital e a popularização dos drones. De modo geral, fotogrametria por drone é definido como fotografias digitais que contém informações importantes para geração de modelos digitais 3D capturadas por câmera fotográfica acoplada em um drone.

Vale ressaltar também que este estudo não utilizou de normas da legislação brasileiras ou regras pertinentes para utilização de drones por ter sido executado em local interno ao campo da UFRGS. É de interesse para estudos futuros consultar as regras da ANATEL de cadastro de drone, DECEA para comunicação de voo, ANAC e o Código Brasileiro da Aeronáutica (Lei 7565/1986)

3.4. NUVEM DE PONTOS

Murphy, McGovern e Pavia (2009) denominam nuvem de pontos como desenhos de engenharia (ortográfico e modelos 3D) derivados de escaneamento a laser e informação de imagem. Eles também dizem que a nuvem de pontos pode ser texturizada com informação de imagem para criar um modelo virtual 3D de uma estrutura ou objeto.

Já Groetelaars (2015) afirma que as nuvens de pontos são, para os sistemas de varreduras a laser e fotografia, o principal produto gerado, onde cada ponto é representado em coordenadas cartesianas.

Tendo os conceitos acima definidos, é possível chegar à conclusão que nuvem de pontos é a fabricação de um modelo digital produzido a partir de escaneamento a laser ou imagens, como se pode observar na Figura 7.

Figura 7 - Exemplo de Nuvem de Pontos



Fonte: Groetelaars (2015)

3.5. ÁREA DE DEGRADAÇÃO

De acordo com Guerra *et al.* (2022) é possível, através de análise visual em associação com registros fotográficos, realizar o rastreamento de áreas de danos a serem quantificadas. Seguindo este embasamento, este estudo propõe a demarcação de áreas degradadas com a utilização de fotos obtidas por drone e análise visual.

Com base na Figura 8, é possível observar a detecção visual de uma área de degradação que posteriormente foi separada por programa de tratamento de imagem, mapeando os danos que podem ser quantificados a partir da área delimitada na superfície.

Figura 8 - Mapeamento visual de degradação



Fonte: Guerra (2022)

3.6. HISTORIC BUILDING INFORMATION MODELLING (HBIM)

O termo *Historic Building Information Modelling* (HBIM) foi introduzido por Murphy, McGovern e Pavia (2009) sendo definido como o modelo BIM que apresenta dados de materiais históricos existentes, sistema de captura a laser em nuvem de pontos e dados de fotogrametria digital.

Atualmente o HBIM é tema relevante em eventos que têm como foco o patrimônio histórico, conforme pode ser verificado nos anais do evento PATRIMÔNIO 4.0, que teve edição em 2022, onde alguns autores utilizaram o HBIM como base para diversos trabalhos, entre eles os de Barreto e Groetelaars (2022), sobre geração de modelo BIM de edificação histórica via integração de desenhos existentes e restituições fotogramétricas digitais; e Ribeiro e Santos (2022) sobre a modelagem do Real Forte Príncipe da Beira, trazendo uma ligação entre nuvem de pontos e modelo REVIT®.

4. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

Neste capítulo apresenta-se o método utilizado para realização do estudo.

Considerando a obtenção das imagens, utilizou-se uma câmera fotográfica de 28 milímetros com 20 megapixels, acoplada a um drone DJI MAVIC PRO 2.

A tomada fotográfica teve ocorrência em 3 partes. A primeira em junho de 2022, onde foram obtidas fotos aéreas e terrestres da edificação e seu entorno, bem como algumas medidas de referência. A segunda e terceira etapas foram realizadas em julho de 2022, com a obtenção de novas fotos aéreas e terrestres. Nessa segunda etapa optou-se pela captura de detalhes, com fotografias mais próximas ao edifício. Por fim, na terceira etapa o drone foi pilotado em voo livre, obtendo-se fotos em posições e angulações diversas.

Ao todo, foram feitas 1332 fotografias do exterior do Castelinho.

Para aferição do modelo constituído a partir da mencionada metodologia, foi feita a consulta em documentação técnica existente, fornecida pelo Setor de Patrimônio Histórico da UFRGS (SPH), através de arquivos em AutoCAD, contendo as plantas baixas, cortes e as fachadas. Os arquivos foram inseridos no programa REVIT® para posteriormente serem compatibilizados com o modelo gerado através de nuvem de pontos.

A pesquisa foi desenvolvida em seis etapas principais, conforme apresentado na Figura 9 – fluxograma.

Etapa 1 - coleta de informações existentes sobre o NORIE/Castelinho, utilizando arquivos existentes e levantamentos in loco;

Etapa 2 - desenvolvimento de modelo tridimensional base para a inserção posterior da nuvem de pontos;

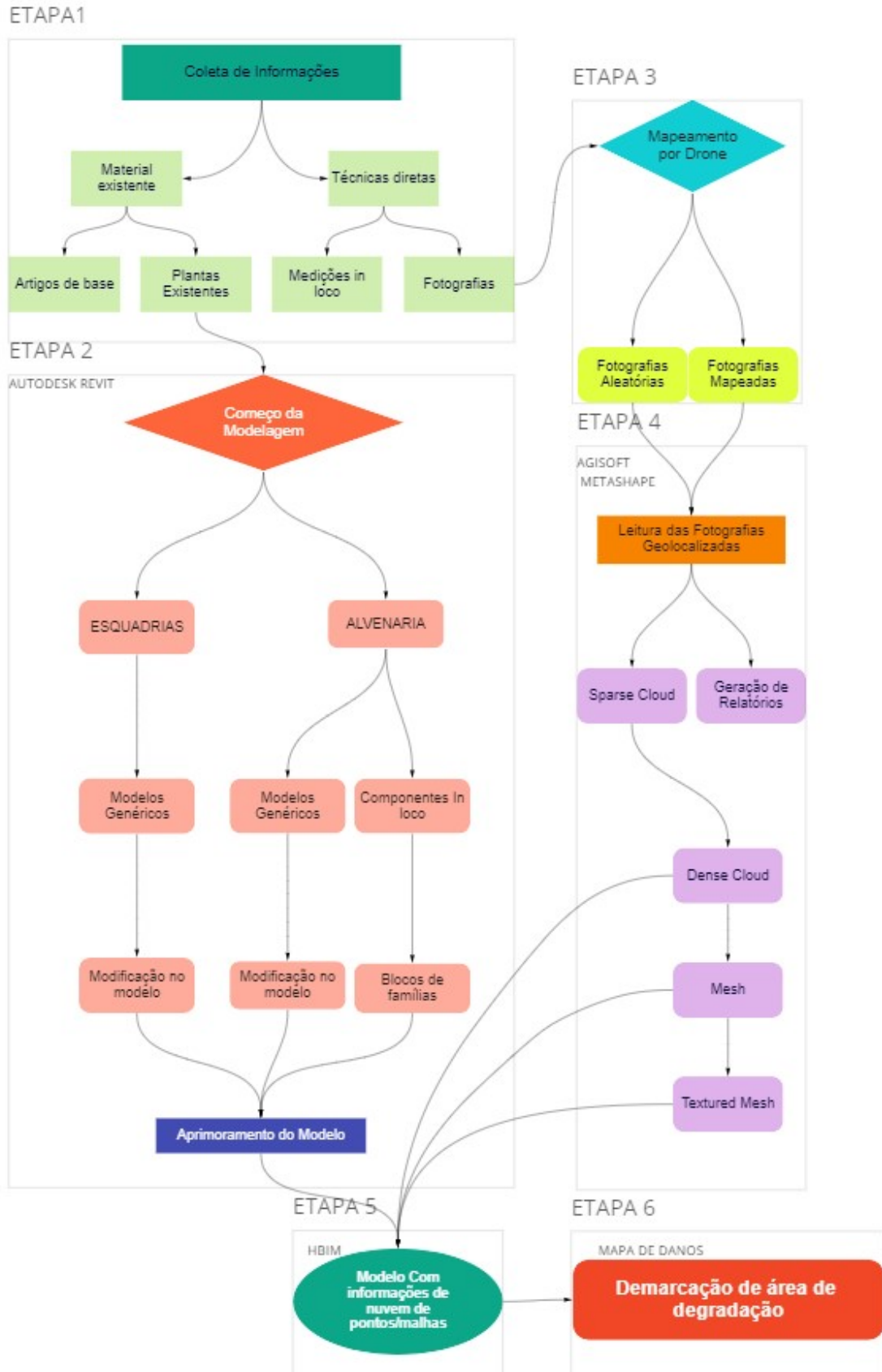
Etapa 3 - captura de fotos georreferenciadas de vários ângulos da edificação com o uso de drone;

Etapa 4 - processamento das imagens georreferenciadas utilizando o programa Metashape®;

Etapa 5 - união do arquivo da nuvem de pontos com o modelo 3D da edificação;

Etapa 6 - registro do estado de conservação da edificação no modelo tridimensional.

Figura 9 - Fluxograma



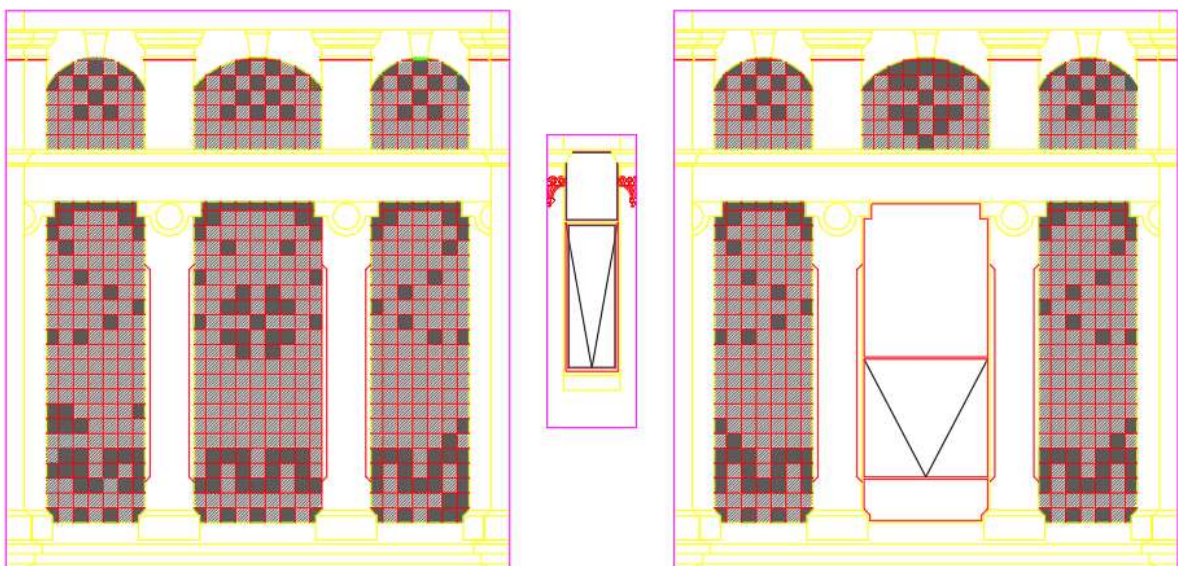
4.1. ETAPA 1 – COLETA DE DADOS

Os materiais existentes utilizados neste projeto foram cedidos pelo SPH. Dentre os materiais disponibilizados, encontram-se 25 arquivos de AutoCAD com o levantamento dimensional da construção. Os arquivos são:

- Situação e Localização (1)
- Plantas Baixas (6)
- Cortes (2)
- Fachadas (10)
- Esquadrias (5)
- Detalhes(1)

Os arquivos de planta baixa e cortes continham cotas e medidas que foram utilizadas para a construção do modelo 3D no software Revit[®], feito por importação. A partir dos arquivos de fachadas e detalhamento foi possível verificar o design das janelas e portas de maneira planejada, auxiliando na modelagem destas peças. Na Figura 10 é possível observar as representações das janelas.

Figura 10 - Exemplo de janelas representadas no AutoCAD



Fonte: Setor do Patrimônio Histórico da UFRGS (SPH).

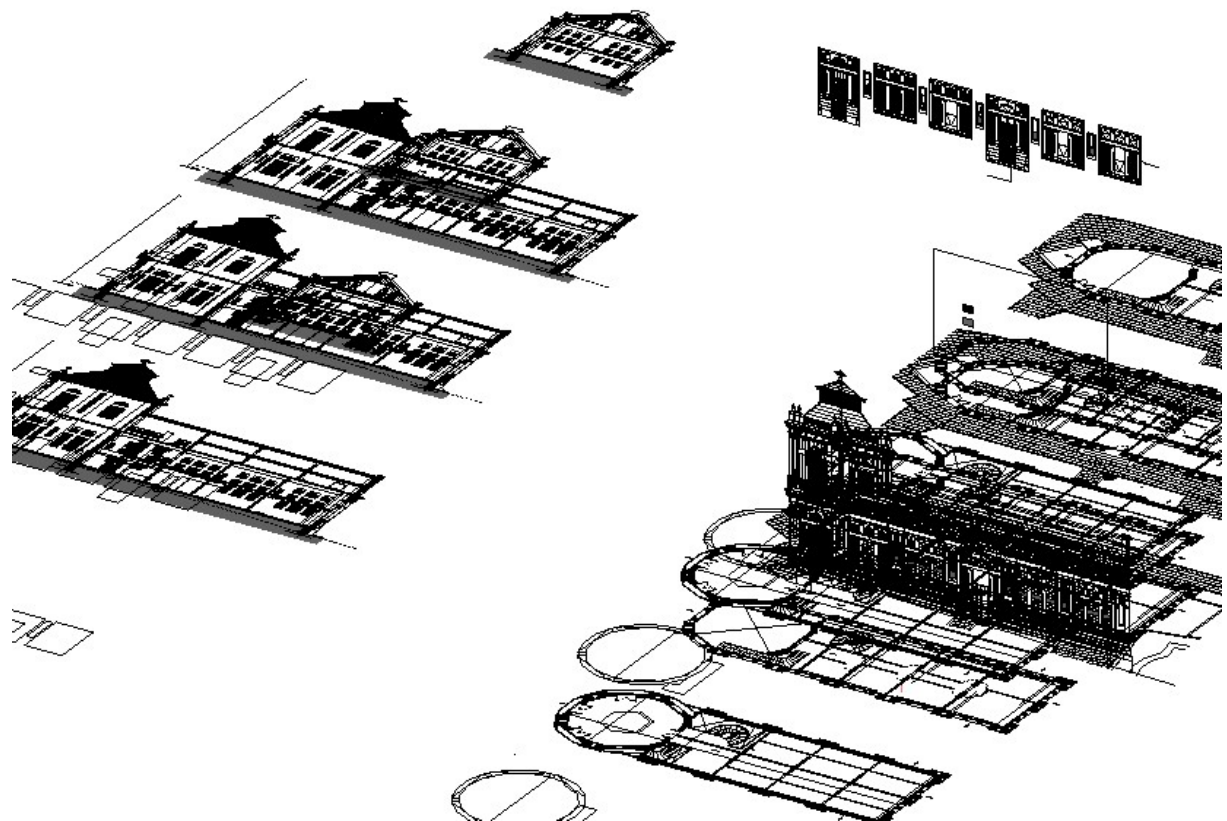
Para o levantamento in loco utilizou-se trena de aço para levantamentos amostrais e validação das informações contidas nos materiais existentes. Foram medidas duas janelas na horizontal e vertical, junto à base do pilar que estavam posicionadas no canto da lateral SUL com a LESTE para fazer a validação das plantas de AutoCAD. As plantas que não foram validadas passaram por processo de redimensionamento geral, até chegar ao tamanho correto real.

4.2. ETAPA 2 – MODELAGEM 3D

Nesta etapa foi criado um modelo tridimensional representativo do Castelinho, na plataforma BIM Autodesk Revit®, versão 2022. Para a criação do modelo foram utilizadas as plantas baixas, cortes e fachadas importadas do AutoCAD® para o Revit®, posicionadas e ajustadas em escala de acordo com a amostragem comentada na etapa anterior.

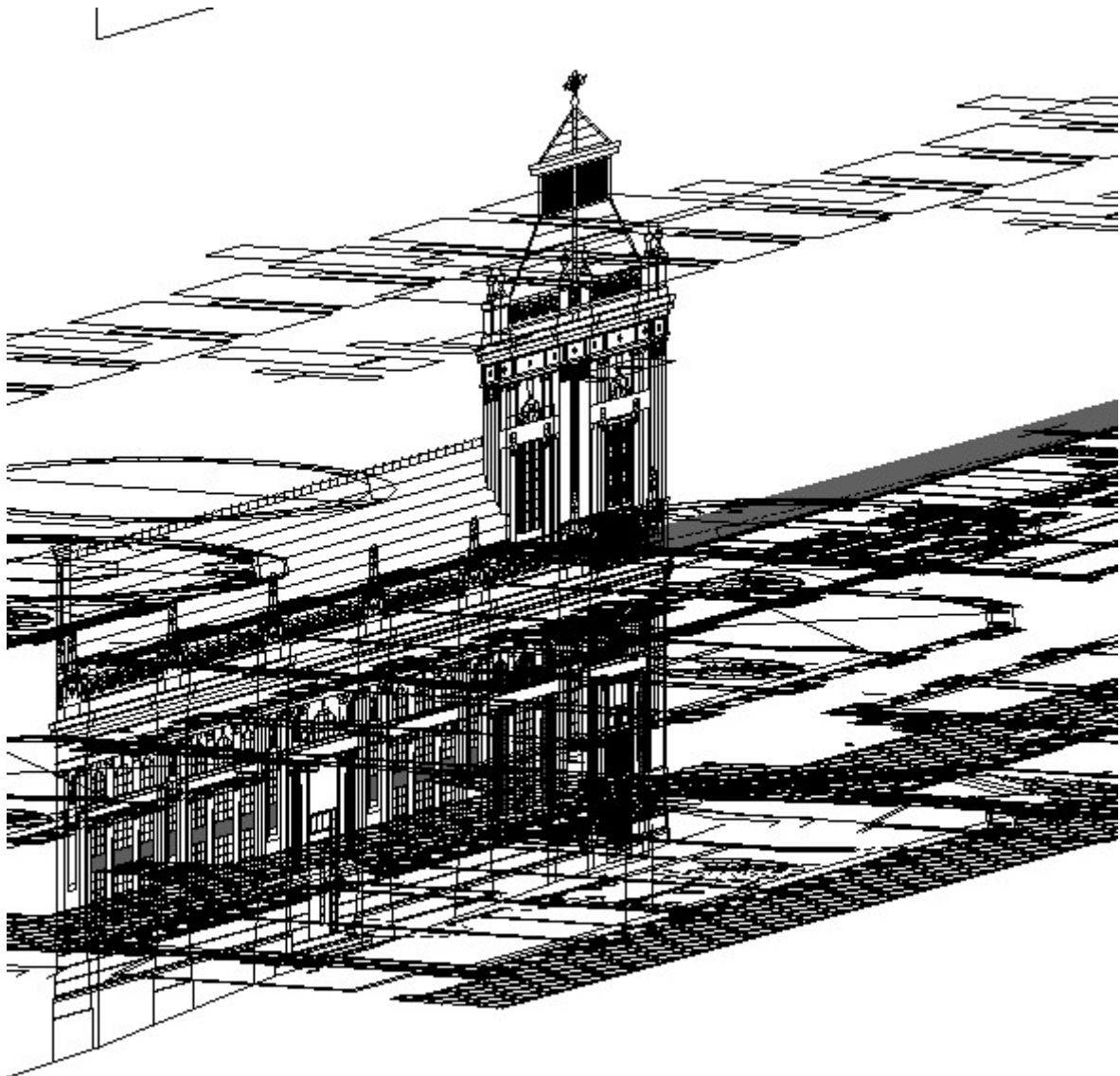
A importação foi feita pela aba de inserção do Revit®, selecionando o arquivo CAD que seria utilizado na vista adequada. Primeiramente foi utilizada importação auto detectada, para com a mudança de tamanho da fachada, e posicionamento manual, sendo inserido no ponto XYZ de coordenadas do Revit® (0,0,0), como exemplificado na Figura 11 e Figura 12.

Figura 11 - Plantas Baixa e Cortes inseridos no REVIT®



Fonte: Autor. (2022)

Figura 12 - Plantas Baixa e Cortes inseridos no REVIT®



Fonte: Autor. (2022)

4.2.1. Representação do modelo de alvenarias

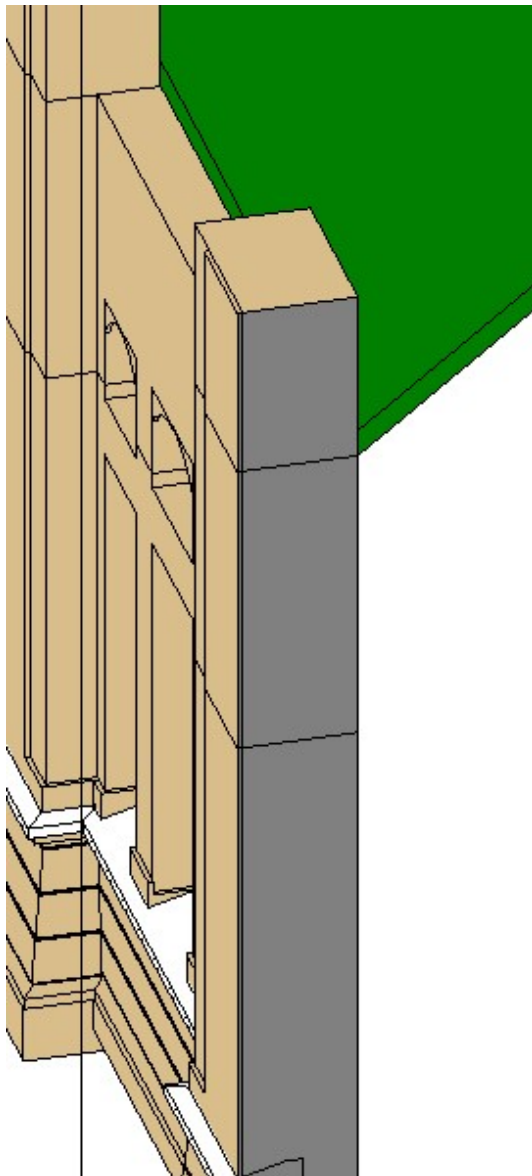
As paredes da edificação foram constituídas como modelos genéricos, visto o desconhecimento do interior e camadas existentes. Observou-se a representação da espessura e da coloração e, utilizou-se da ferramenta “pegador de cor” para encontrar a pigmentação da edificação a partir das imagens fotográficas, considerando a influência da luminosidade do dia na determinação da cor real da edificação.

Para modelagem das paredes foram usados dois métodos no software Revit®:

- 1) método de modelagem in loco, posteriormente criando famílias de paredes;
- 2) método de criação de paredes genéricas “cebola”.

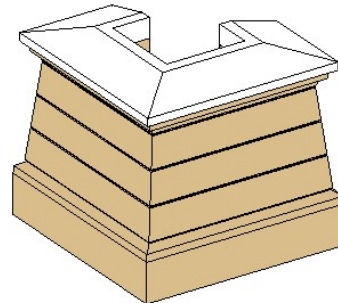
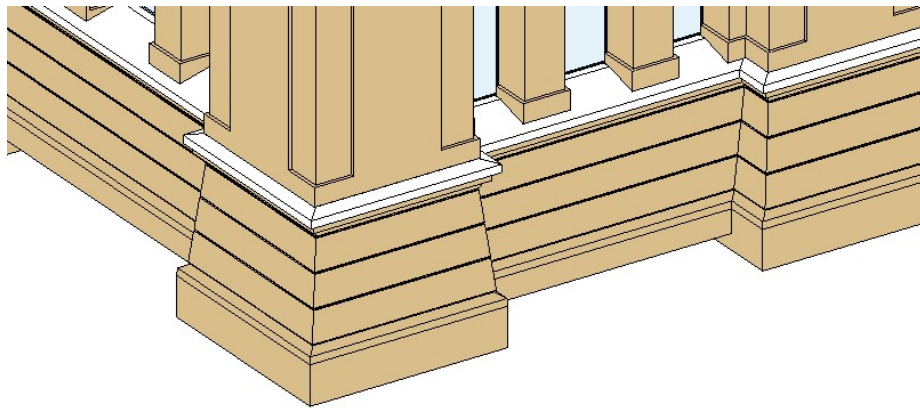
No primeiro método, a sequência de utilização para paredes mais complexas foi “Guia arquitetura > Painel Construir > Componente > Modelar no Local > Lista de filtros > Arquitetura > Parede”. Foram utilizadas as ferramentas de modelagem do REVIT® como visto na Figura 13. Na Figura 14 observa-se a criação de um perfil baseado no corte e nas plantas, para posteriormente ser utilizada a ferramenta de extrusão em diversas posições.

Figura 13 - Parede Modelo "Cebola"



Fonte: Autor. (2022)

Figura 14 - Parede In loco transformada em família



Fonte: Autor. (2022)

Por fim cada uma dessas posições foi transformada em uma família para fácil união com as outras paredes pelo caminho “Guia modificar > Painel Criar> Criar Grupo> Nomear grupo > (com o grupo selecionado) Arquivo > Salvar Como> Biblioteca: Família > Salvar”. Assim, em caso de mudanças necessárias, seria possível reconfigurar cada peça separadamente.

A segunda construção de paredes utilizadas para a modelagem de elemento mais simples é o método de criação de parede em camadas, onde cada camada da parede será colocada como um elemento genérico, que servirá de base, para caso seja necessário, um detalhamento posterior.

4.2.2. Esquadrias / Janelas

Como não foram encontrados as plantas e os detalhamentos das portas, o trabalho se intensificou na modelagem apenas das janelas das fachadas em estudo, como será mostrado a seguir.

As janelas foram modeladas de maneira fidedigna às planejadas, sendo uma cópia das janelas que se encontram no Castelinho na parte das fachadas, sul, leste e oeste, sendo baseadas no arquivo DWG de fachada cedido pela universidade. Para criação de janelas foi usado o método de criação de famílias de janelas, neste método foram usadas janelas já existentes genéricas, e modificadas para representação dos vitrais de maneira aproximada à realidade em quantidade, tamanho, forma, localização e orientação, conforme Figura 15 e Figura 16.

Figura 15 - Janelas modeladas conforme plantas (Fachada Sul)



Fonte: Autor. (2022)

Figura 16 - Janelas modeladas conforme Plantas (Fachada Sul)



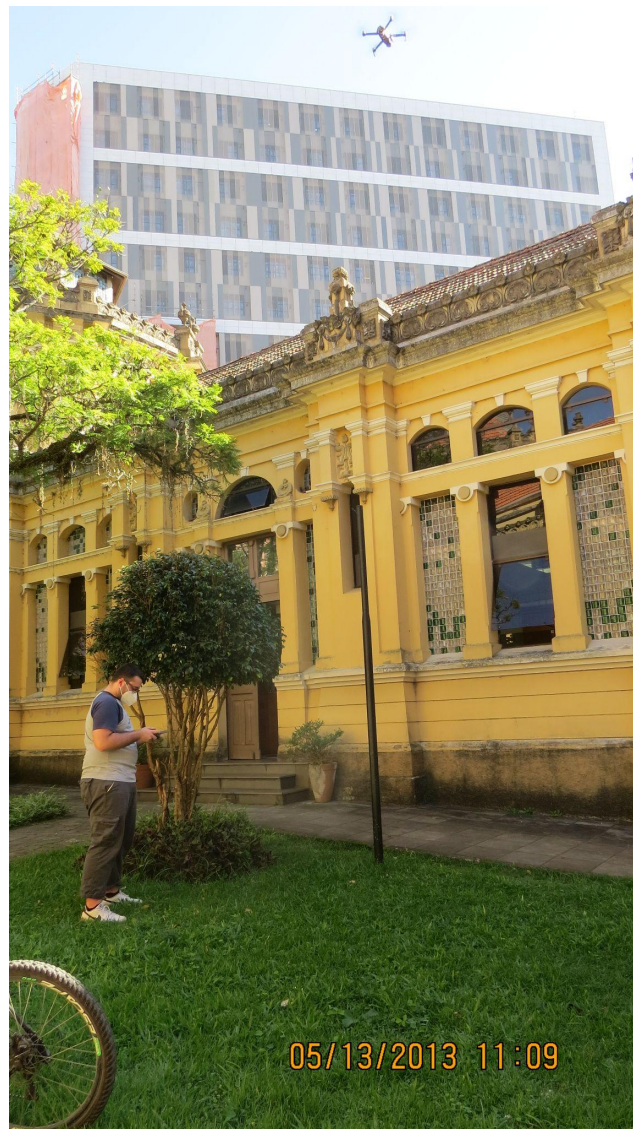
Fonte: Autor. (2022)

Para a construção das famílias foi seguido o fluxo dentro da família genérica “Salvar como outro nome > Painel Criar > Criar extrusão > Modelagem da extrusão no local conforme a aparência da janela > Salvar > Carregar no Projeto e Fechar > Selecionar o projeto de uso”

4.3. ETAPA 3– FOTOGRAMETRIA

As capturas de fotogrametria foram feitas em 2022, nos meses de maio a junho, resultando em um total de três medições, sendo diferenciadas as medições mapeadas e as medições aleatórias. As fotos foram registradas das laterais sul, leste, oeste, além do telhado e da torre também. Quanto à fachada norte, foi decidido não a fazer por ser voltada para a Avenida Osvaldo Aranha, podendo apresentar riscos quanto ao uso do equipamento. A Figura 17 e Figura 18 demonstram o processo de captura.

Figura 17 – Captura das imagens com drone



Fonte: Lais Zucchetti.

Figura 18 – Captura das Imagens com drone



Fonte: Lais Zucchetti

4.3.1. Fotografias mapeadas

Os registros digitais do drone (Figura 19 e Figura 20) seguiram um padrão de elevação de 1 metro a cada 2 segundos, até altura máxima de 15 metros, seguido de deslocamento de aproximadamente 1,5 metros laterais, envolvendo toda a fachada sul, leste e parte da oeste da edificação. Vale ressaltar que as condições de voo para retirada de fotos foram dias ensolarados ou nublados. Nenhuma foto foi retirada em dias chuvosos ou em pelo menos 2 dias após estes.

Figura 19 – Foto capturada pelo drone mapeada



Fonte: Autor. (2022)

Figura 20 - Foto capturada pelo drone mapeada



Fonte: Autor.

4.3.2. Fotografias aleatórias

Nesta segunda etapa (Figura 21 e Figura 22), executada em junho de 2022, foi utilizado o drone em “voo livre”, capturando a cada 2 segundos fotos direcionadas ao prédio, na tentativa de estruturar pontos não conduzidos apenas pelas fotografias mapeadas.

Figura 21 – Fotografia capturada de modo aleatório



Fonte: Autor (2022).

Figura 22 – Fotografia capturada de modo aleatório



Fonte: Autor (2022).

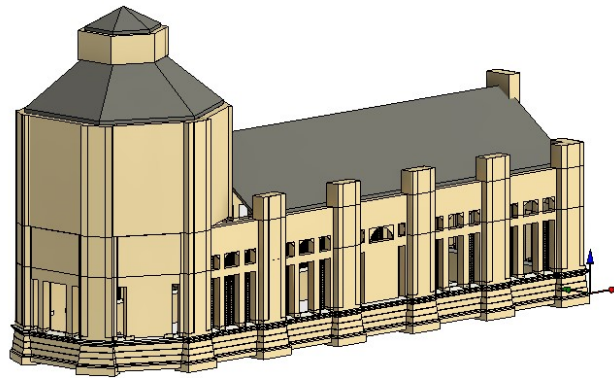
5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com base na metodologia descrita neste trabalho foram gerados os modelos tridimensionais no software Revit® e da obtenção da nuvem de pontos.

5.1. MODELO GERADO NO REVIT®

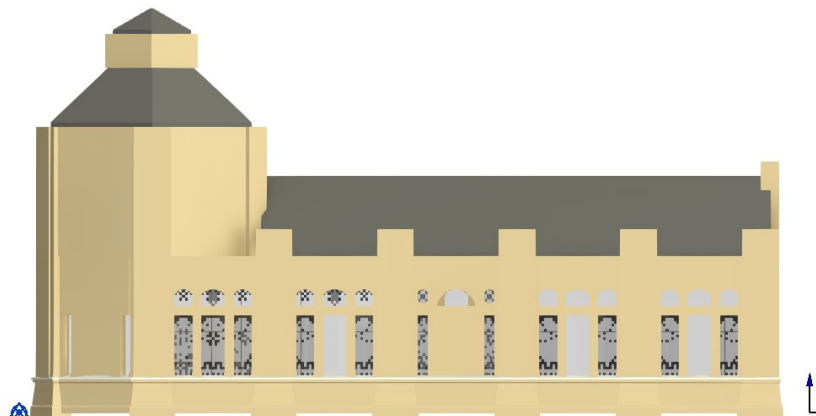
O modelo gerado no Revit® foi a base para a inserção da nuvem de pontos. O modelo, considerado um LOD 200 por sua simplicidade de formas e volume, serve como uma representação virtual básica do castelinho, sem levar em conta localização, apenas formato, tamanho, cor e orientação. As Figura 23 à Figura 26 demonstram o modelo.

Figura 23 - Perspectiva do Modelo



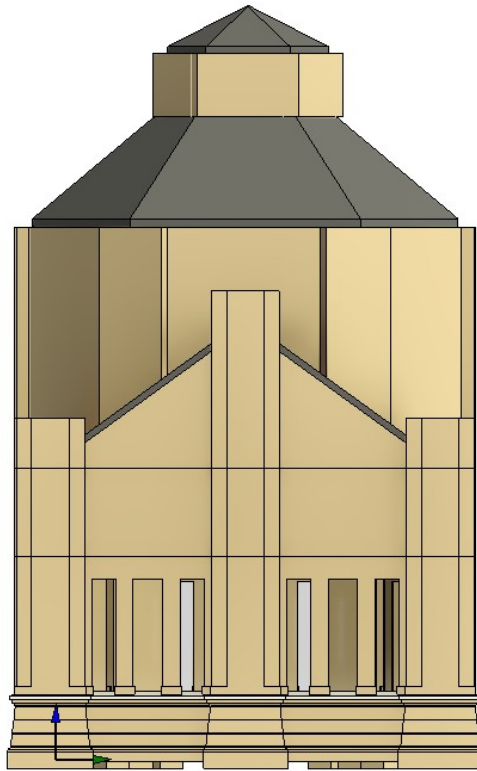
Fonte: Autor (2022).

Figura 24 - Lateral SUL



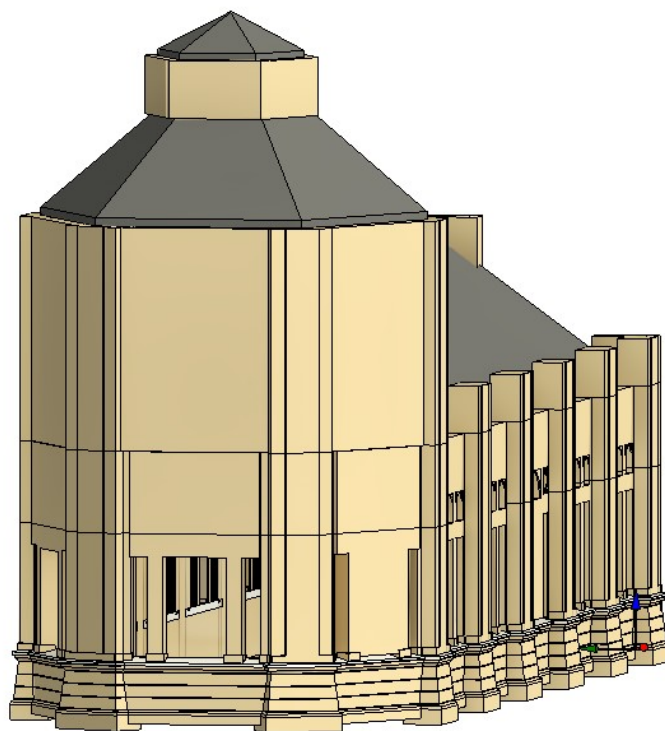
Fonte: Autor (2022).

Figura 25 - Lateral LESTE



Fonte: Autor (2022).

Figura 26 - Lateral OESTE



Fonte: Autor (2022).

5.2. ETAPA 4 – NUVEM DE PONTOS

As fotos capturadas na etapa 3 foram carregadas no programa de construção de nuvem de pontos AGISOFT METASHAPE[®], onde foram codificadas pela geolocalização do disparo, e seguido o cronograma de uso do Metashape[®] para criação de nuvem de pontos, conforme metodologia descrita por Groetelaars (2022)

Com base nesta metodologia foram adotados os conceitos básicos de restituição fotogramétrica digital para documentação do patrimônio arquitetônico. Os tópicos abordados e seguidos foram:

- Tipos de restituição fotogramétrica digital e cuidados na tomada fotográfica;
- Exemplos de ferramentas e aplicações;
- Apresentação do software Agisoft Metashape[®];
- Etapas para processamento de fotos terrestres;
- Experimentação prática de processamento no Metashape[®] para geração de modelos de nuvens de pontos, malhas triangulares irregulares texturizadas e ortofotos;
- Ajuste da escala e rotação do modelo e formas de exportação.

As limitações de uso da nuvem de pontos foram pontuadas no capítulo de limitações. Para possível maior precisão da nuvem de pontos pode aumentar as limitações seguidas.

5.2.1. Geração de Relatórios

Com a criação da nuvem de pontos, o Metashape[®] automaticamente gera um relatório detalhado com todos os pontos utilizados e alocados. O relatório final da nuvem de pontos encontra-se no Anexo I. Este relatório contém informações como calibragem da câmera, mapa de geolocalização das fotos, tempo de processamento da nuvem, elevações, densidade dos pontos,

5.2.2. Nuvem de Pontos (Sparse Cloud)

A nuvem de pontos pode ser dividida em quatro tipos diferentes, com duas famílias: Nuvem de pontos (*Sparse Cloud, Dense Cloud*) e Malhas (*Mesh, Textured Mesh*).

As *Sparse Clouds* são o princípio inicial para a criação de nuvem de pontos densa, onde é feita uma primeira filtragem das fotos georreferenciadas para ligação de pontos em comum entre as fotos. Na Figura 27 e Figura 28 é possível observar como não existe uma grande definição entre os pontos, apenas um mapa mais abrangente. Como resultado, a *Sparse Cloud* gerada conta com um total de 774654 pontos.

Figura 27 - Sparse Cloud



Fonte: Autor (2022)

Figura 28 - Sparse Cloud



Fonte: Autor (2022)

5.2.2.1. Dense Cloud

Dense Stereo Matching, ou *Dense Cloud*, ou DSM, é a segunda etapa na criação de nuvem de pontos, onde é feita uma maior concentração de pontos e ligações entre as fotos referenciadas para uso de criação de nuvem, transformando assim a *sparse cloud* anteriormente falada em uma nuvem bem mais densa.

Figura 29 - Dense Cloud



Fonte: Autor (2022)

Figura 30- *Dense Cloud*

Fonte: Autor (2022)

A *dense cloud*, para efeitos quantitativos, possui um total de 49.706.635 pontos, um número mais robusto comparativamente à *Sparse cloud*. Na Figura 29 e Figura 30, comparando com a Figura 27 e Figura 28, torna-se bem mais visível a forma entre os pontos do Castelinho, tornando assim um modelo mais fidedigno para uso, porém ainda consta com instabilidades e granulação presente devido à quantidade de pontos.

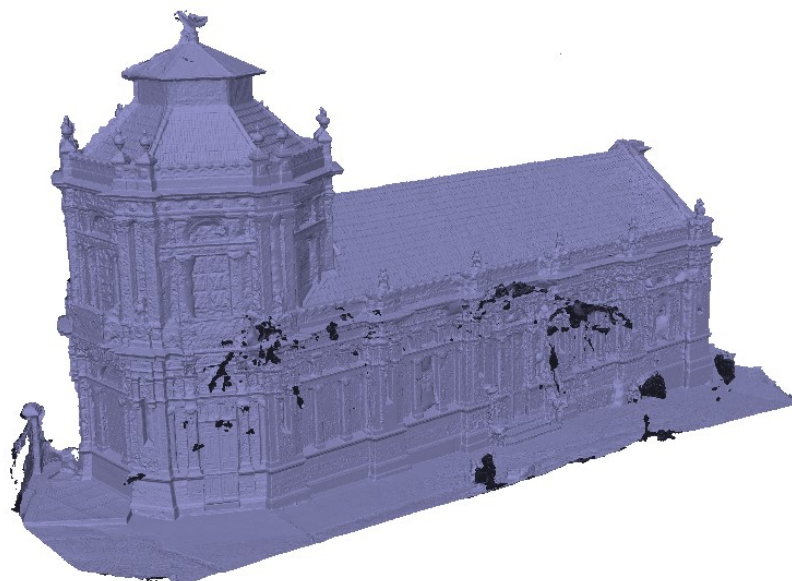
5.2.2.2. *Mesh*

O *Mesh*, ou malha, é uma forma de criação de triangulações na região da nuvem de pontos, criando assim uma extensão de faces conjunta dos pontos, que quando triangulados geraram 8.473.547 faces para o modelo 3D. A Figura 31 é a base da qual o *Metashape*[®] demonstra a malha, chamada de *Mesh Sombreado*, onde já é possível notar uma aparência bem mais próxima da realidade do Castelinho.

Figura 31 - *Mesh Sombreado*

Fonte: Autor (2022)

Na Figura 32 pode-se observar outro modo de visualização da mesma malha conhecido como *Mesh Sólido*, que é utilizado para representar o objeto, sem distinguir cores baseadas na fotogrametria. É possível notar como alguns detalhes não observáveis na Figura 31 são visíveis na Figura 32, como por exemplo, os detalhes no topo do torreão, onde é observa-se a profundidade tomada pela Malha.

Figura 32 - *Mesh Sólido*

Fonte: Autor (2022)

5.2.2.1. *Textured Mesh*

A *Textured Mesh*, ou Malha Texturizada, é uma atualização da Malha Sombreada, onde o software faz uma análise mais precisa das faces e da película de sombreamento sobre as faces para demonstrar o objeto, tornando-o assim, mais próximo do que é na realidade, como pode ser visto na Figura 33 e Figura 34

Figura 33–*Textured Mesh*



Fonte: Autor (2022)

Figura 34–*Textured Mesh*



Fonte: Autor (2022)

Nas Figura 35 à Figura 40 é possível comparar o trabalho de reconstrução promovido pelo software com as fotos obtidas pelo drone. Nestas comparações, nota-se uma correspondência maior onde existe um número maior de registros(Figura 35 e Figura 36;Figura 39 e Figura 40)comparativamente aos locais que possuem número menor de capturas (Figura 37 e Figura 38).

Figura 35 - Reconstrução como malha pelo software Metashape®



Fonte: Autor (2022).

Figura 36 - Fachada em foto capturada por drone



Fonte: Autor (2022).

Figura 37 - Reconstrução como malha pelo software *Metashape*®



Fonte: Autor (2022).

Figura 38 - Fachada em foto capturada por drone



Fonte: Autor (2022).

Figura 39 - Reconstrução como malha pelo software Metashape®



Fonte: Autor (2022).

Figura 40- Fachada em foto capturada por drone

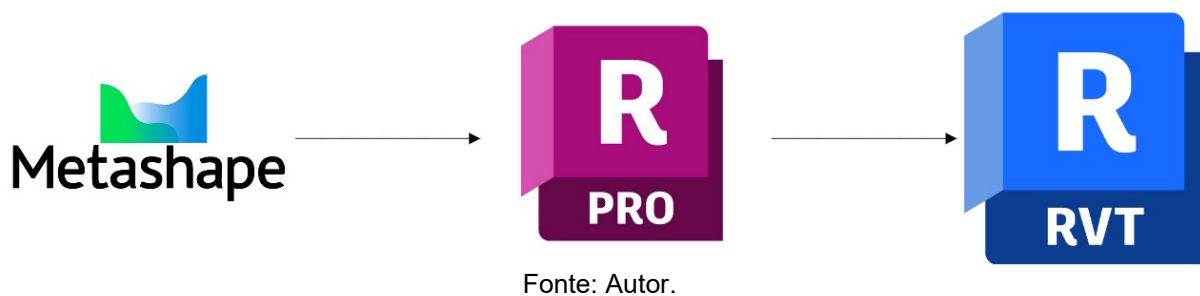


Fonte: Autor (2022).

5.3. ETAPA 5 - HBIM

A etapa inicial para a primeira interação de HBIM foi a inserção da nuvem de pontos *Dense Cloud* exportada do *Metashape*[®]. A primeira nuvem de pontos foi feita em formato de texto (.txt) e importada para o programa Autodesk Recap, que por sua vez foi utilizado para transformar a nuvem de pontos em um arquivo legível para Revit[®], em extensão “.rcp”. O processo de transmissão é exemplificado na Figura 41.

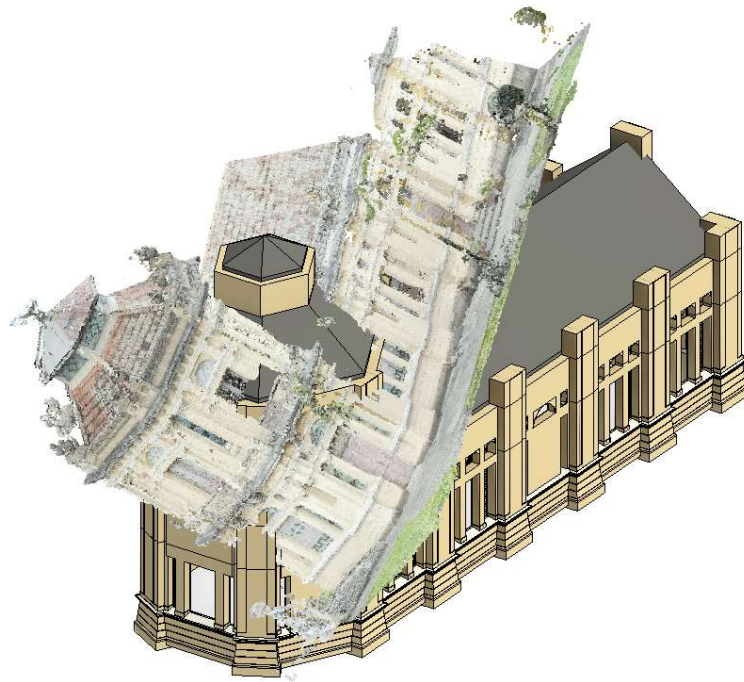
Figura 41 - Fluxo de trabalho



A inserção da nuvem de pontos foi feita seguindo o fluxo: Aba Inserir > Inserir Nuvem de Pontos > Selecionar arquivo .rcp> Selecionar posição da nuvem de pontos (selecionado posicionamento automático na origem). Assim, foi realizada a primeira inserção da nuvem de pontos.

Após esta inclusão, notou-se que a nuvem de pontos ficou desalinhada em posição e tamanho, além da perda de pontos conforme se pode observar na Figura 42, sendo necessário repetir o processo, desta vez utilizando uma nuvem exportada em formato “.e57”. Para meios de comparação, na Figura 42 pode-se visualizar a posição e tamanho da nuvem de pontos proveniente de arquivo de texto transformada em uma imagem de formato “.e57”.

Figura 42 - Primeira interação do modelo com a nuvem de pontos



Fonte: Autor.

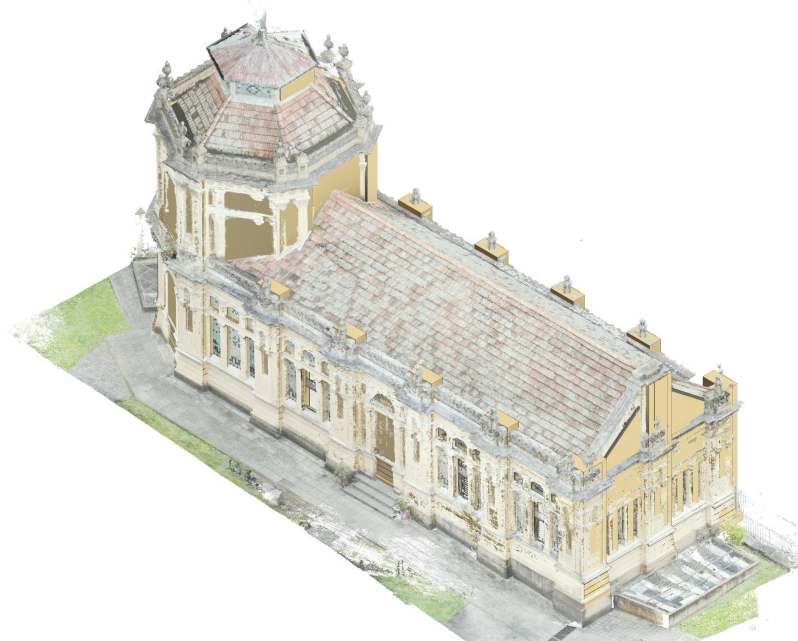
Já a Figura 43 ilustra a correção da orientação e posicionamento da nuvem de pontos exportada em formato de texto (.txt); e a Figura 44 mostra a mesma nuvem de pontos exportadas em formato .e57 sobre o modelo 3D desenhado em REVIT®;

Figura 43 - Nuvem de pontos exportadas em formato .txt



Fonte: Autor (2022)

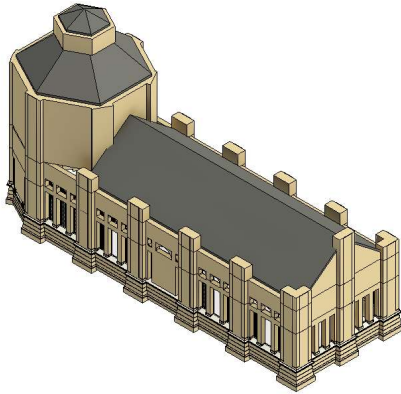
Figura 44 - Nuvem de pontos exportadas em formato.e57



Fonte: Autor (2022)

Comparativamente, nas Figura 45 à Figura 50 pode-se observar o modelo com e sem nuvem de pontos

Figura 45 – Modelo 3D da volumetria do castelinho



Fonte: Autor (2022)

Figura 46 – Nuvem de pontos posicionada no entorno do modelo em formato .e57



Fonte: Autor (2022)

Figura 47 – Modelo 3D com a lateral Sul planificada



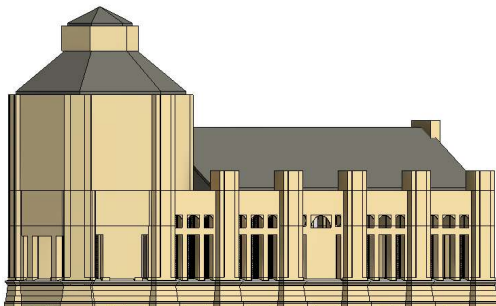
Fonte: Autor (2022)

Figura 48 - Nuvem de pontos posicionada junto com a fachada sul planificada em formato .e57



Fonte: Autor (2022)

Figura 49 – Modelo 3D com lateral sul e oeste visíveis



Fonte: Autor (2022)

Figura 50 – Nuvem de pontos posicionada com foco nas Laterais sul e oeste em formato .e57



Fonte: Autor (2022)

Observando-se a sobreposição dos modelos gerados a partir da nuvem de pontos e o modelo volumétrico construído no Software Revit[®], notam-se algumas incompatibilidades, entre elas:

- As dimensões de paredes no projeto original e o tamanho das paredes na nuvem de pontos;
- A coloração da nuvem de pontos e a coloração do modelo;
- A inclinação da edificação tornou-se planificada pelo modelo volumétrico do castelinho;

Após a primeira verificação do arquivo da nuvem de pontos no modelo do Revit[®], notou-se a dificuldade de correspondência da forma real da nuvem de pontos com a forma projetada vinda dos arquivos de AutoCAD. Levando em conta a perda de dados na transferência do arquivo para o REVIT[®], decidiu-se realizar um teste com outra extensão de arquivo, a “.rcs”. Desta forma, ao invés de exportar o arquivo .e57 e transformá-lo em .rcp, optou-se por transformá-lo na exportação do Autodesk Recapem .rcs. Além disto, realizou-se adicionalmente uma etapa complementar de ajuste no arquivo do Metashape[®], acertando os ângulos e usando réguas de medição para aferição da proporção da nuvem de acordo com o arquivo de REVIT[®]. Estes procedimentos foram realizados com base em metodologia descrita por Groeetelars (2022). Da Figura 51 até a Figura 54 mostra-se a união da nuvem em formato .rcs e o arquivo REVIT[®].

Figura 51 - Nuvem de Pontos acoplado com o Modelo



Fonte: Autor (2022)

Figura 52 - Nuvem de pontos e Modelo Lateral Leste



Fonte: Autor (2022)

Figura 53 - Nuvem de Pontos e Modelo Lateral Sul



Fonte: Autor (2022)

Figura 54 - Nuvem de Pontos e Modelo Lateral Oeste e Sul



Fonte: Autor (2022)

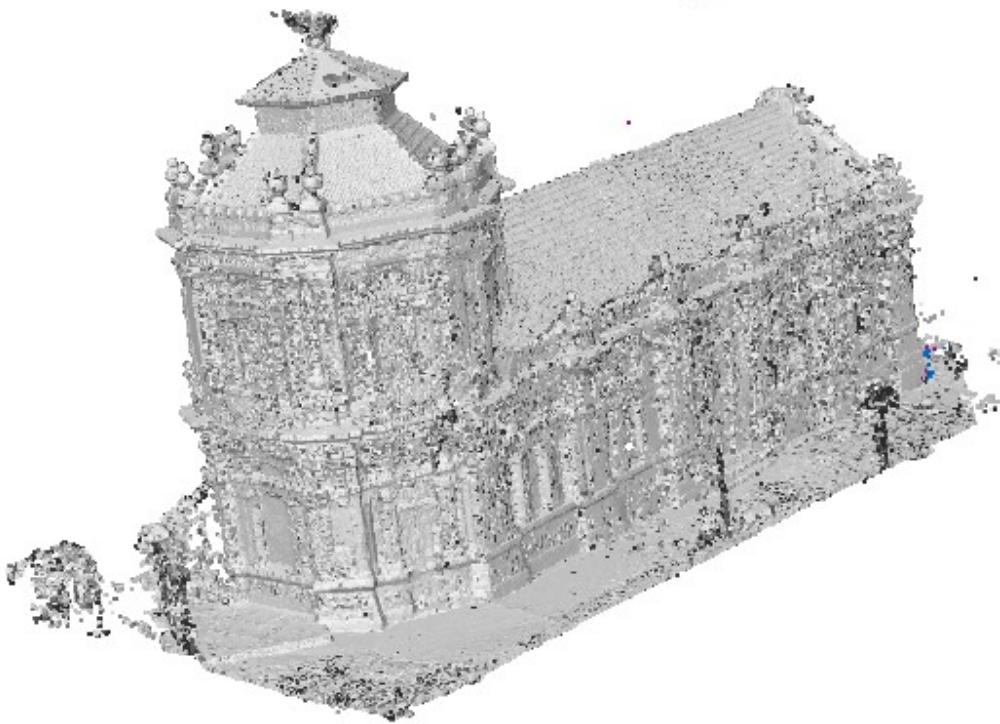
Com o Modelo HBIM testado e funcional foi possível dar continuidade para a próxima etapa do método, que são os testes de demarcação de áreas de degradação.

5.4. ETAPA 6 – DEMARCAÇÃO DE ÁREAS DE DEGRADAÇÃO

A demarcação de áreas de degradação foi feita com o intuito de exemplificar a potencialidade da utilização do modelo tridimensional gerado para realização de um mapeamento de danos. Em etapa futura é possível adotar-se esta ferramenta como auxílio para o mapeamento de danos.

O processo de demarcação de áreas de degradação foi feito inteiramente dentro do software Metashape[®], pois este possui um sistema de classificação dos pontos dentro da nuvem. Este modo permite selecionar pontos específicos da *Dense Cloud* e escolher uma classe para codificá-los, tornando assim possível mapear e filtrar estes pontos pela visualização de *Dense Cloud Classes*, como visto na Figura 55.

Figura 55 - *Dense Cloud Classes* sem Preenchimento



Fonte: Autor (2022)

Para realização da demarcação de danos da *Dense Cloud Classes*, seguiu-se o seguinte fluxo de trabalho:

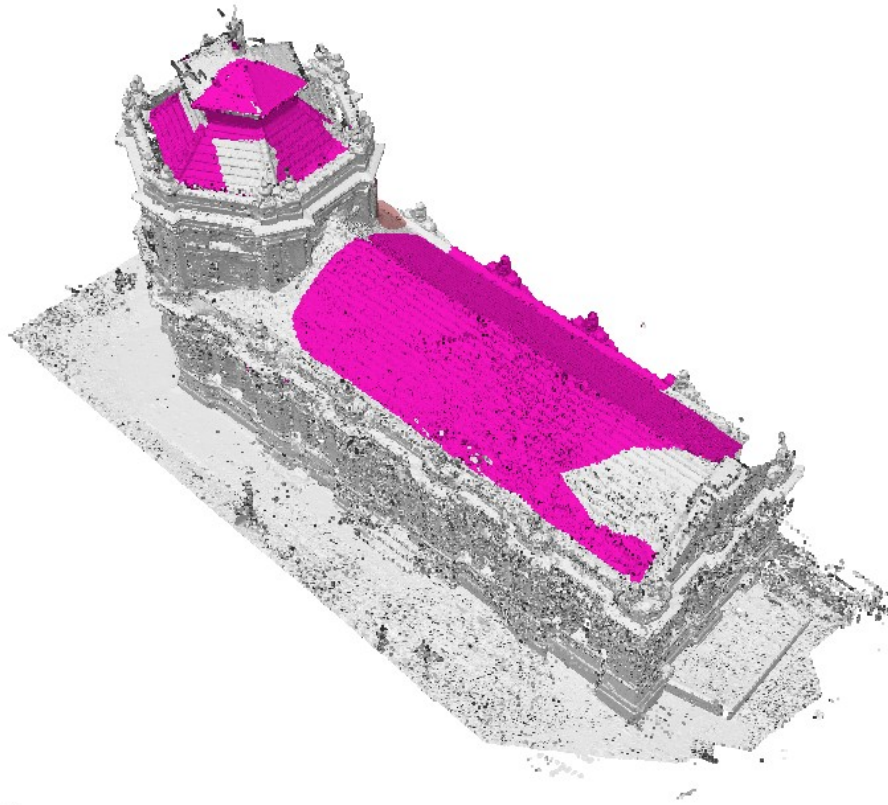
1) Checar Mesh> trocar para Dense Cloud > Marcar a região que deseja selecionar com a ferramenta selection> botão direito do mouse, opção AssignClass> selecionar a classe desejada;

2) Filtrar os pontos de classe e remover pontos indesejados mudando de classe;

3) Depois de filtrado, duplicando a nuvem de pontos e deletando os pontos que foram marcados como classe é possível adquirir um número de pontos para análise quantitativa percentual.

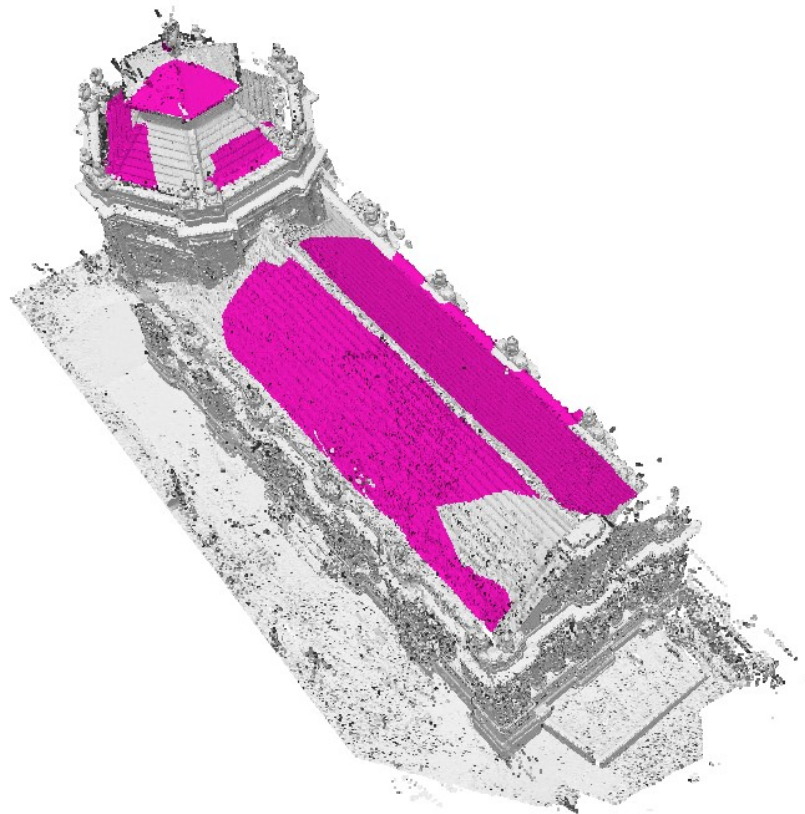
Na Figura 56 e Figura 57 é possível ver a seleção de área degradada do telhado e das telhas do torreão em classe “*High Noise*”

Figura 56–Área degradada Danos do Telhado antes de serem filtrados



Fonte: Autor (2022)

Figura 57 - Danos do Telhado após filtragem de pontos

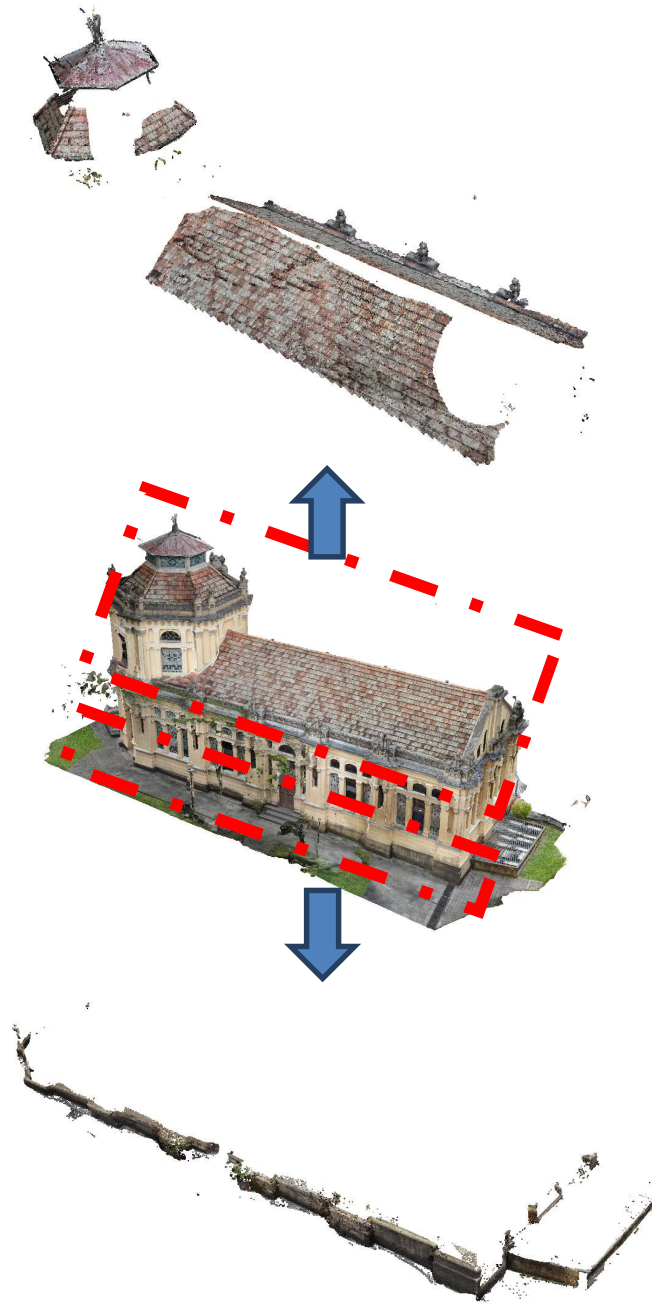


Fonte: Autor (2022)

Para determinar as áreas degradadas foi inicialmente contabilizado o número total de pontos gerados através da nuvem de pontos, sendo o total de 49.706.635 pontos gerados para o modelo 3D. Através de inspeção visual no modelo 3D foram selecionadas as áreas que apresentavam danos, onde a superfície apresentava aspecto de degradação. Essas áreas foram isoladas da nuvem de pontos e foram quantificadas em número total de pontos que estas significavam. A partir disto foi feito uma análise percentual de área degradada. Da área de nuvem de pontos, a construção totaliza 43.072.148 pontos.

Na Figura 58 São demonstradas as áreas degradadas do telhado e da base da edificação. Considerando o telhado as áreas degradadas apresentaram um total de 9.563.012 pontos, correspondendo a um total percentual em relação a construção de 22,202% da superfície. Já as áreas degradadas da base do prédio detém um total de 1.001.393 pontos e um percentual em relação a construção de 2,325% da superfície.

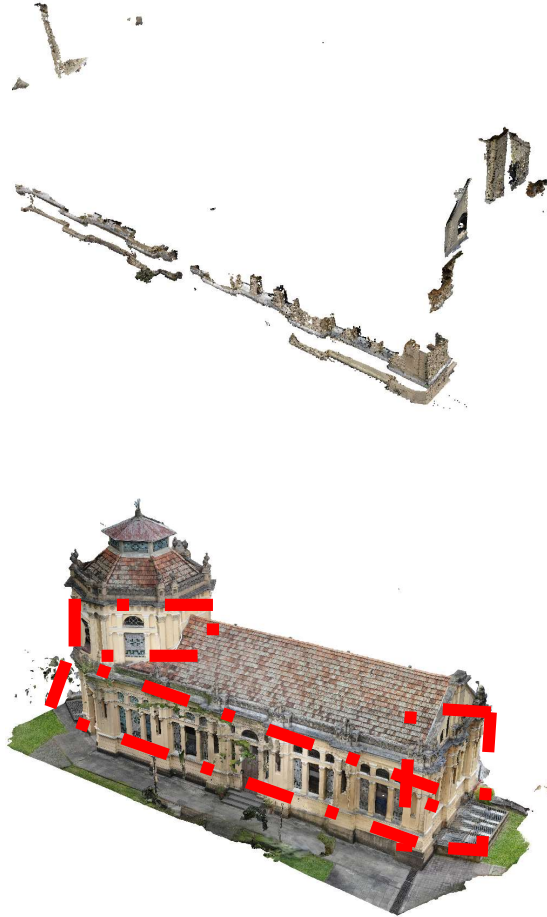
Figura 58 - Área degradada do Telhado e Mesh para referência



Fonte: Autor (2022)

Na Figura 59 são demonstradas as áreas degradadas das paredes, com um total de 1.886.799 pontos e um percentual em relação a construção de 4,381% da superfície.

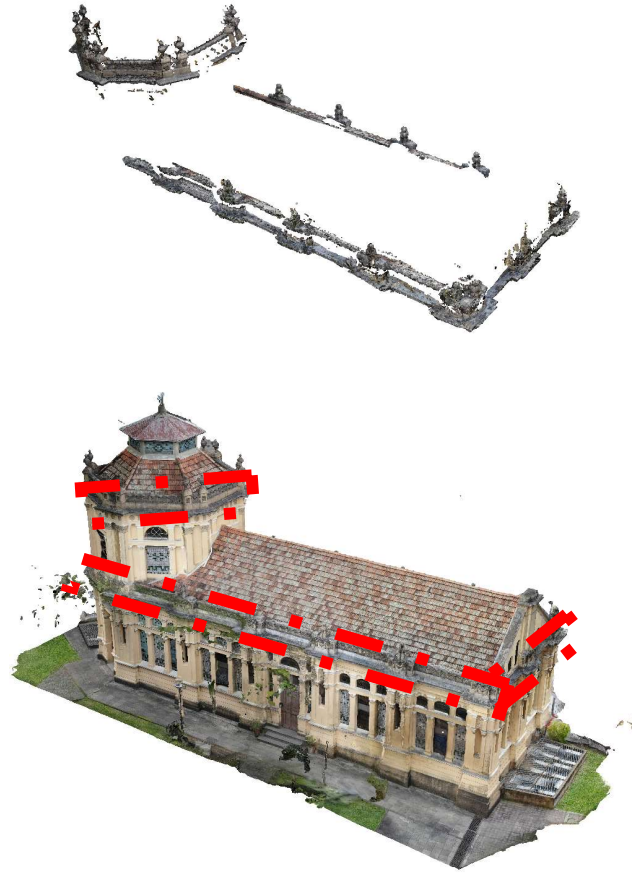
Figura 59 - Área degradada das Paredes e Mesh para referência



Fonte: Autor (2022)

Por último, na Figura 60 observa-se a degradação das áreas dos ornamentos, com um total de 3.275.834 pontos e um percentual em relação a construção de 7,605% da superfície.

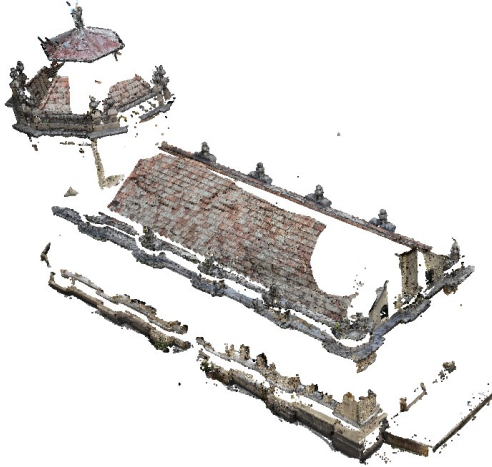
Figura 60 - Área degradada dos Ornamentos



Fonte: Autor (2022)

Fazendo um somatório dos números de pontos demarcados como degradação, totaliza-se 15.727.038 pontos, e comparando com o total de 43.072.148 pontos do prédio levantado nesta pesquisa (face leste, sul e oeste), o percentual correspondente às áreas de degradação foi de 36,513%. Na Figura 61 e Figura 62 verificam-se as áreas degradadas e a área total.

Figura 61 - Áreas Degradadas



Fonte: Autor (2022)

Figura 62- Superfície Total



Fonte: Autor (2022)

É importante ressaltar que a análise de danos foi feita em conjunto com as fotos retiradas durante os voos de drone, na tentativa de realização de demarcação das áreas degradadas. O estudo em si não teve como objetivo fazer um levantamento do tipo de dano, apenas marcar áreas aparentemente degradadas. Destaca-se ainda, que neste estudo foi feita apenas a demonstração da potencialidade de uso desta ferramenta para o registro e monitoramento do avanço de processos de degradação, em nível de exemplificação.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal objetivo deste estudo foi verificar o procedimento de modelagem de uma edificação histórica para a demarcação de área degradada nas laterais SUL, LESTE e OESTE existentes em áreas externas voltadas para o interior da UFRGS do prédio Castelinho. Para tal foi proposta a utilização da metodologia BIM e processos de nuvens de pontos, como parte da metodologia HBIM.

Inicialmente foi criada uma nuvem de pontos das fachadas de estudo utilizando fotogrametria geolocalizada, feita através de imagens obtidas a partir de uma câmera fotográfica acoplada em um drone.

Com os dados obtidos através plantas junto a UFRGS foi realizada a modelagem 3D do prédio do Castelinho para montagem da sua volumetria e formas da edificação.

Unindo os dados obtidos pela nuvem de pontos através da fotogrametria com o modelo 3D elaborado, a partir das plantas, foi realizado, através de procedimentos descritos no estudo, a criação do HBIM, que resultou em um modelo tridimensional digital da edificação histórica, um importante registro do estado atual de conservação da edificação.

Com todos os procedimentos adotados foi possível, através de observações feitas nos modelos gerados, demarcar áreas de degradação que podem possibilitar a criação de um mapeamento de danos.

Observando a demarcação gerada, pode ser verificada com precisão a localização de extensão destas degradações, que são de fundamental importância para a elaboração de um planejamento eficaz de restauração da edificação.

A tecnologia usada permite visualização de pontos de difícil acesso gerando vantagens quanto a uma inspeção in loco.

Desta forma, o problema de pesquisa deste estudo foi atendido e respondido dentro da exposição da pesquisa a partir da apresentação de metodologia de modelagem de uma edificação existente, neste caso o prédio do castelinho da UFRGS. A partir do modelo gerado foi possível realizar a demarcação de áreas de degradação, utilizando a unificação entre a metodologia BIM e processos de nuvens de pontos, da metodologia HBIM.

Por último, como sugestão para continuação deste trabalho, indica-se a execução completa do mapeamento de danos e comparação com outros programas de quantificação para processamento de imagem, tais como IMAGEJ, PHOTOSHOP, ou até mesmo a possibilidade de mapeamento pelo uso de ferramentas BIM, como o REVIT®.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARRETO, Pablo Henrique Neves; GROETELAARS, Natalie Johanna. **GERAÇÃO DE MODELO BIM DE EDIFICAÇÃO HISTÓRICA VIA INTEGRAÇÃO DE DESENHOS EXISTENTES E RESTITUIÇÕES FOTOGRAMÉTRICAS DIGITAIS**. In: PATRIMONIO 4.0, 1. ed, 2022, Goiania. Anais de evento. São Paulo: Camara Brasileira do livro, 2022. p. 255 – 272

BEDRICK, J. IKERD, W. REINHARDT, J. (2021) **LEVEL OF DEVELOPMENT (LOD) SPECIFICATION For Building Information Models**. BIMForum. Disponível em: <<https://bimforum.org/resource/level-of-development-specification/>>. Acesso em: 07/10/2022

CANUTO, C. L.; MOURA, L. R. de; SALGADO, M. S. Tecnologias digitais e preservação do patrimônio arquitetônico: explorando alternativas. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 7, n. 4, p. 252–264, 2016. DOI: 10.20396/parc.v7i4.8647456. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8647456>. Acesso em: 16 set. 2022.

CANUTO, C. L.; SALGADO, M. S. Modelo **BIM do Palácio Gustavo Capanema 1937-1945: pela preservação digital do patrimônio moderno**. Gestão e Tecnologia de Projetos, São Carlos, v. 15, n. 1, p. 101-116, jan. 2020. <http://dx.doi.org/10.116/gtp.v14i1.152823>

EASTMAN, C., TEICHOLZ, P., SACKS, R., & LISTON, K., (2014). **Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores (1ª ed.)**. Rio Grande do Sul: Bookman.

SILVA, F. B. L.; CUPERSCHMID, A. R. M. **HBIM e Patologias das Edificações Históricas: uma Análise Quantitativa da Revisão Sistemática da Literatura**. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO E PATRIMÔNIO CULTURAL, 1., 2019, São Carlos, SP. Anais [...] São Carlos: IAU-USP, 2019

GASPAR, J.A., Ruschel, R. (2019). **A evolução do significado atribuído ao acrônimo BIM: Uma perspectiva no tempo**. SIGraDi 2017, XXI Congresso de la Sociedad Ibero-americana de Gráfica Digital, – Concepción, Chile, 2017

GROETELAARS, N. J. **Criação de modelos BIM a partir de “nuvens de pontos”: estudo de métodos e técnicas para documentação arquitetônica**. 2015. 372 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015. <http://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/20220>

GROETELAARS, Natalie Johanna, BORGES, Ariane Magda. **Minicurso 04 - Fotogrametria Digital e suas aplicações no Patrimônio**. Evento virtual Patrimônio 4.0: Conectando dimensões da realidade. 2022

GUERRA, Fernanda Lamego; ZUCCHETTI, Laís; GIORDANI, Caroline; MASUERO, Angela Borges; DAL MOLIN, Denise C. Coitinho. **PROCESSAMENTO DE IMAGEM COMO FERRAMENTA PARA ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS**. In: PATRIMONIO 4.0, 1. ed, 2022, Goiania. Anais de evento. São Paulo: Camara Brasileira do livro, 2022. p. 215 – 230.

MURPHY, M., MCGOVERN, E. and PAVIA, S. (2009), **"Historicbuildinginformationmodelling (HBIM)"**, *StructuralSurvey*, Vol. 27 No. 4, pp. 311-327. <https://doi.org/10.1108/02630800910985108> .Acessoem: 16 set. 2022.

OLIVEIRA, Juliê Pena de; ZANONI , Vanda Alice Garcia; PELLEGRINO, Pedro. **LEVANTAMENTO COM SCANNER À LASER NA MODELAGEM DA IGREJINHA: UM ESTUDO DO NÍVEL DE DESENVOLVIMENTO-LOD** In: PATRIMONIO 4.0, 1. ed, 2022, Goiania. Anais de evento. São Paulo: Camara Brasileira do livro, 2022. p. 80 – 93.

PENTTILÄ, H. (2007). **Early Architectural Design and BIM**. In: Dong, A., Moere, A.V., Gero, J.S. (eds) Computer-Aided Architectural Design Futures (CAADFutures) 2007. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6528-6_22

RIBEIRO, Lucas; SANTOS ,João Vitor. **MODELAGEM DO REAL FORTE PRÍNCIPE DA BEIRA: EXPERIÊNCIAS ASSOCIATIVAS COM NUVEM DE PONTOS E REVIT**. In: PATRIMONIO 4.0, 1. ed, 2022, Goiania. Anais de evento. São Paulo: Camara Brasileira do livro, 2022. p. 166 – 175.

SPH: Setor de Patrimônio Histórico da UFRGS, 2022. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/patrimoniohistorico/castelinho/>>. Acesso em: 12/09/2022

TOLENTINO, M. M. **A utilização do HBIM na documentação, na gestão e na preservação do Patrimônio Arquitetônico**. In: XX Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics. Anais [...] Buenos Aires: 2016.

TEMBA, Plínio. **Fundamentos da Fotogrametria**. UFMG, 2000. Disponível em: <http://www.faed.udesc.br/arquivos/id_submenu/815/fotogrametria_material_01.pdf>

Van Nederveen, G.A. and Tolman, F.P. (1992) **Modelling Multiple Views on Buildings**. Automation in Construction, 1, 215-224. [http://dx.doi.org/10.1016/0926-5805\(92\)90014-B](http://dx.doi.org/10.1016/0926-5805(92)90014-B)

ZANELLA, Julia G. Campan; PIERRI, Maria Eduarda de M. Altenburg; CONCEIÇÃO, Nallan Francisca da; CAMPEDELLI, Renata S. **TECNOLOGIAS APLICADAS AO LEVANTAMENTO DE PATRIMÔNIO HISTÓRICO: CASA DE IMIGRAÇÃO ITALIANA NO VALE DO ITAJAÍ**. In: PATRIMONIO 4.0, 1. ed, 2022, Goiania. Anais de evento. São Paulo: Camara Brasileira do livro, 2022. p. 273 – 285.

ANEXO I

Agisoft Metashape

**Processing Report
20 September 2022**



Survey Data

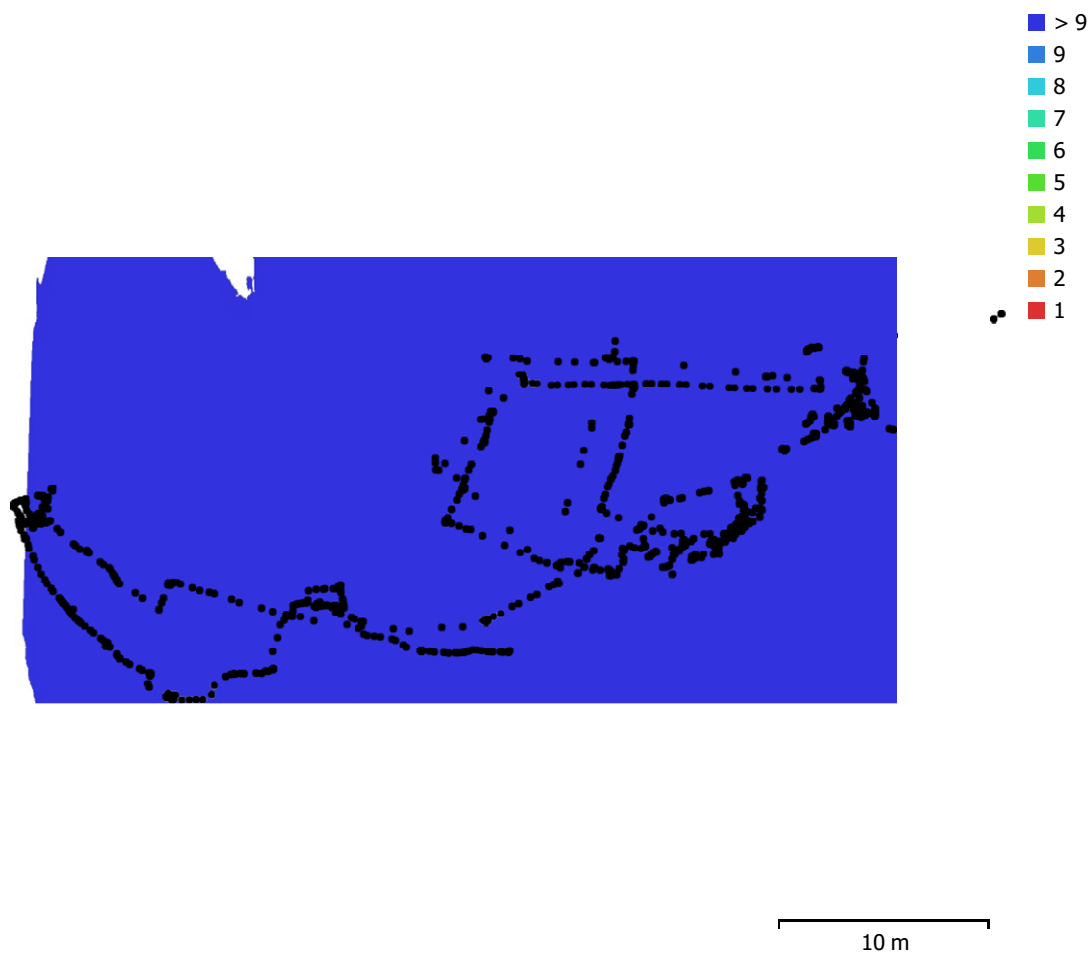


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	1,332	Camera stations:	1,323
Flying altitude:	7.54 m	Tie points:	775,654
Ground resolution:	2.83 mm/pix	Projections:	3,432,533
Coverage area:	421 m ²	Reprojection error:	0.869 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
Test_Pro (4.5mm)	4056 x 2280	4.5 mm	1.74 x 1.74 μ m	No
Test_Pro	640 x 360	unknown	unknown	No
Canon PowerShot SX50 ...	4000 x 2248	4.3 mm	1.55 x 1.55 μ m	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

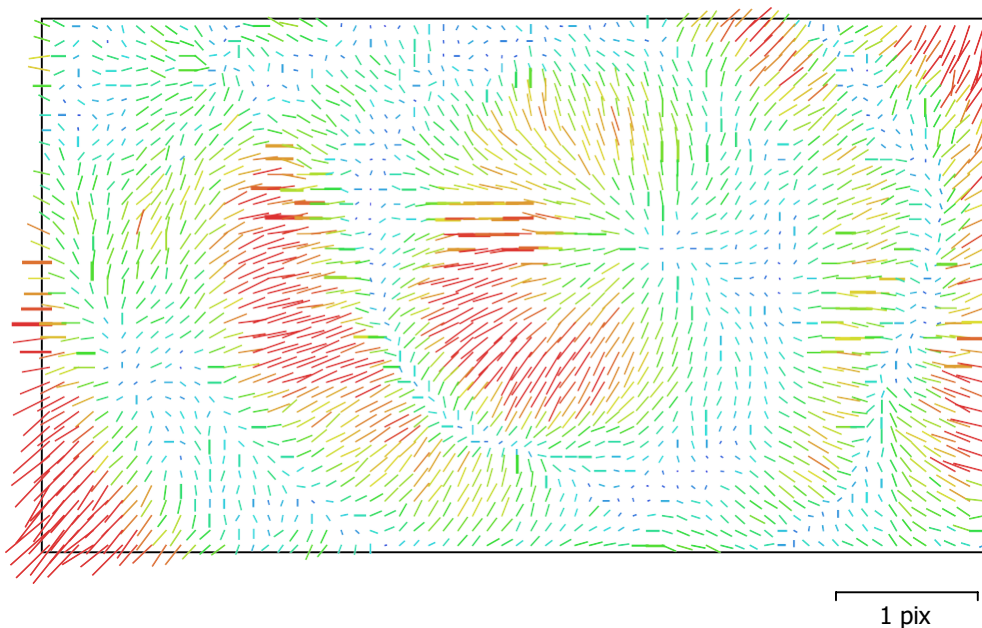


Fig. 2. Image residuals for Test_Pro (4.5mm).

Test_Pro (4.5mm)

657 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	4056 x 2280	4.5 mm	1.74 x 1.74 μm

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	3057.38	0.02	1.00	0.09	-0.05	-0.15	0.21	-0.19	0.07	-0.04
Cx	18.6428	0.035		1.00	0.02	-0.02	0.01	-0.01	0.96	0.04
Cy	-24.3959	0.029			1.00	-0.04	0.02	-0.02	0.03	0.85
K1	0.00427416	2.8e-05				1.00	-0.95	0.89	-0.02	-0.06
K2	-0.0442068	0.00011					1.00	-0.98	0.01	0.03
K3	0.0392913	0.00013						1.00	-0.01	-0.02
P1	-0.000418137	3.4e-06							1.00	0.04
P2	-0.000717736	2.4e-06								1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Calibration

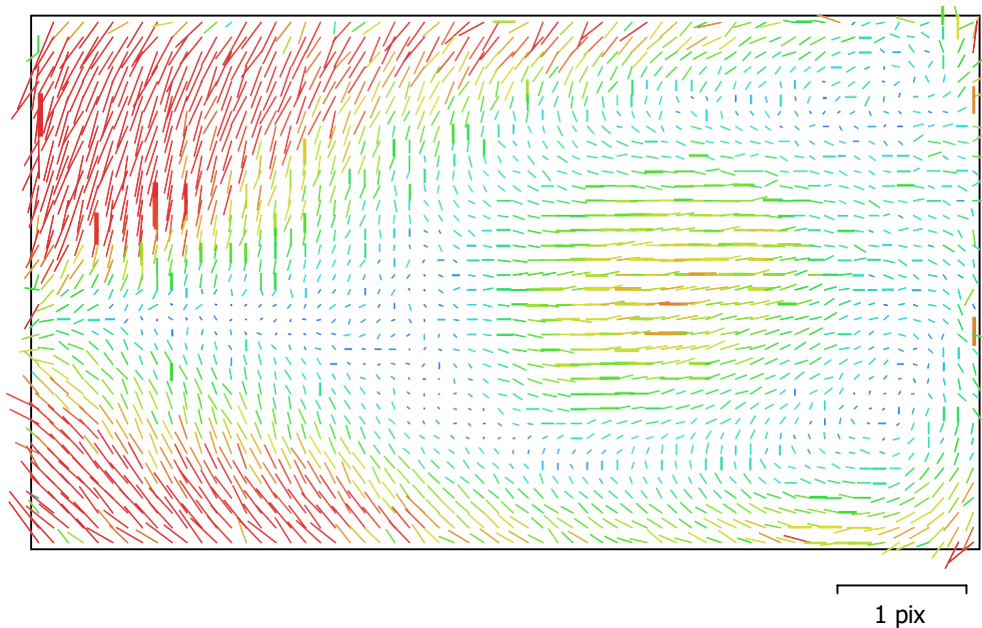


Fig. 3. Image residuals for Test_Pro.

Test_Pro

656 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	640 x 360	unknown	unknown

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	634.385	0.012	1.00	-0.22	-0.08	-0.63	0.54	-0.48	-0.20	0.00
Cx	-40.4556	0.033		1.00	0.03	-0.03	0.01	-0.00	0.91	0.05
Cy	19.6699	0.026			1.00	-0.04	0.04	-0.04	-0.00	0.74
K1	-0.0212654	0.00027				1.00	-0.96	0.91	0.00	0.00
K2	0.0160154	0.0016					1.00	-0.98	-0.06	-0.01
K3	0.0201408	0.0026						1.00	0.06	0.01
P1	-0.0166037	1.8e-05							1.00	0.02
P2	0.00183886	1.2e-05								1.00

Table 3. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Calibration

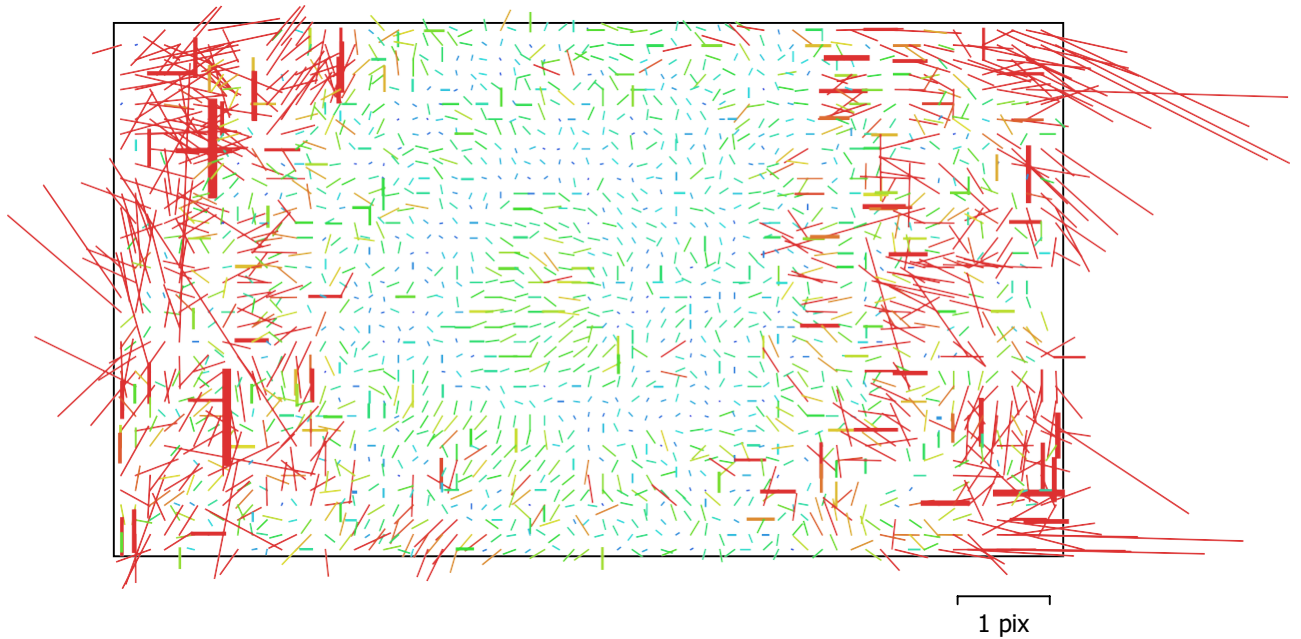


Fig. 4. Image residuals for Canon PowerShot SX50 HS (4.3mm).

Canon PowerShot SX50 HS (4.3mm)

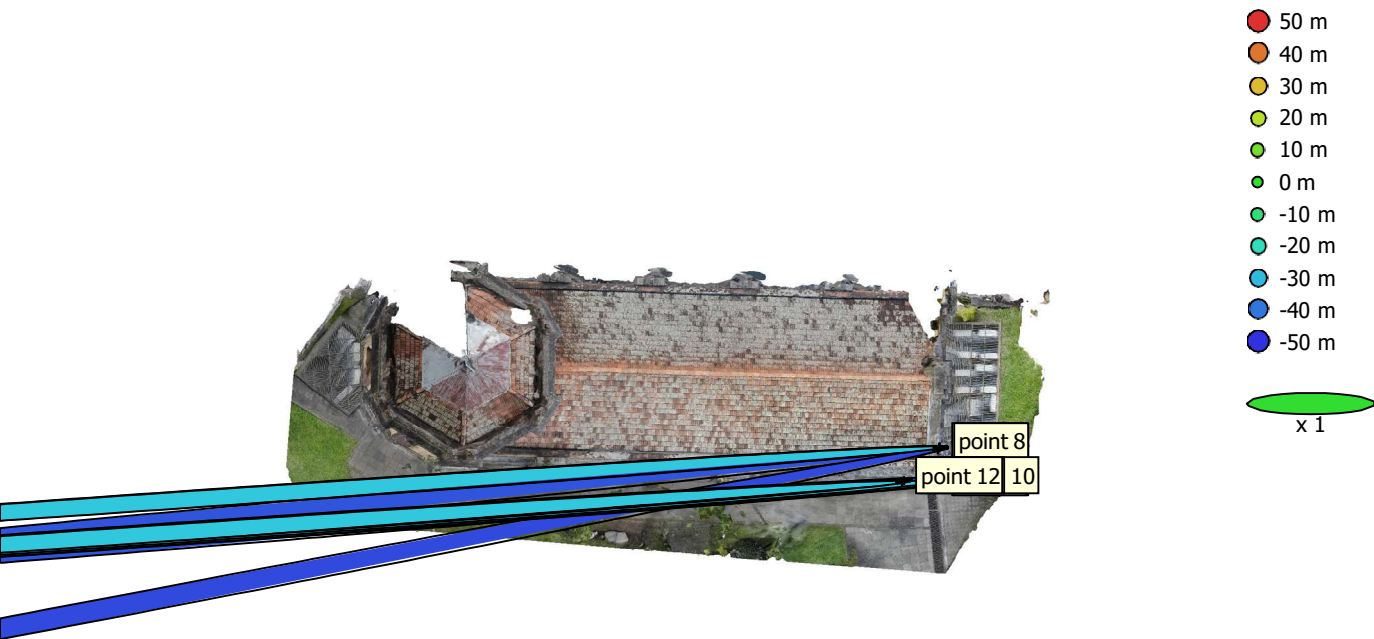
19 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	4000 x 2248	4.3 mm	1.55 x 1.55 μm

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	2852.54	0.077	1.00	0.13	-0.18	-0.34	0.29	-0.24	0.11	0.03
Cx	64.8502	0.17		1.00	-0.18	-0.01	0.01	-0.01	0.91	-0.14
Cy	33.4843	0.14			1.00	-0.04	0.02	-0.02	-0.19	0.79
K1	-0.0267662	0.00017				1.00	-0.95	0.88	0.00	-0.04
K2	0.00203876	0.00066					1.00	-0.98	-0.00	0.01
K3	0.0202373	0.00074						1.00	0.01	-0.02
P1	0.00645617	1.7e-05							1.00	-0.16
P2	0.00399278	1.4e-05								1.00

Table 4. Calibration coefficients and correlation matrix.

Ground Control Points



● Control points

⊥ Check points

10 m

Fig. 5. GCP locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

Count	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total (m)
10	78.1002	7.51781	34.2074	78.4611	85.5938

Table 5. Check points RMSE.

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Total (m)	Image (pix)
point 1	86.1599	6.80489	-45.162	97.5164	2.076 (11)
point 4	85.5401	8.08777	-44.9013	96.9466	0.833 (18)
point 5	85.0625	16.2838	-46.3655	98.2372	0.000 (107)
point 6	74.6612	5.18644	-28.0203	79.9145	0.000 (85)
point 7	74.6612	5.18644	-28.0203	79.9145	0.000 (39)
point 8	74.6612	5.18644	-28.0203	79.9145	0.000 (71)
point 9	74.6612	5.18644	-28.0203	79.9145	0.000 (114)
point 10	74.6612	5.18644	-28.0203	79.9145	0.000 (206)
point 11	74.6612	5.18644	-28.0203	79.9145	0.000 (157)
point 12	74.6612	5.18644	-28.0203	79.9145	0.000 (80)
Total	78.1002	7.51781	34.2074	85.5938	0.260

Table 6. Check points.

Scale Bars

Label	Distance (m)	Error (m)
point 1_point 5	1.4017	0.00169517
point 4_point 5	0.13802	-0.0174797
Total		0.012418

Table 7. Control scale bars.

Digital Elevation Model

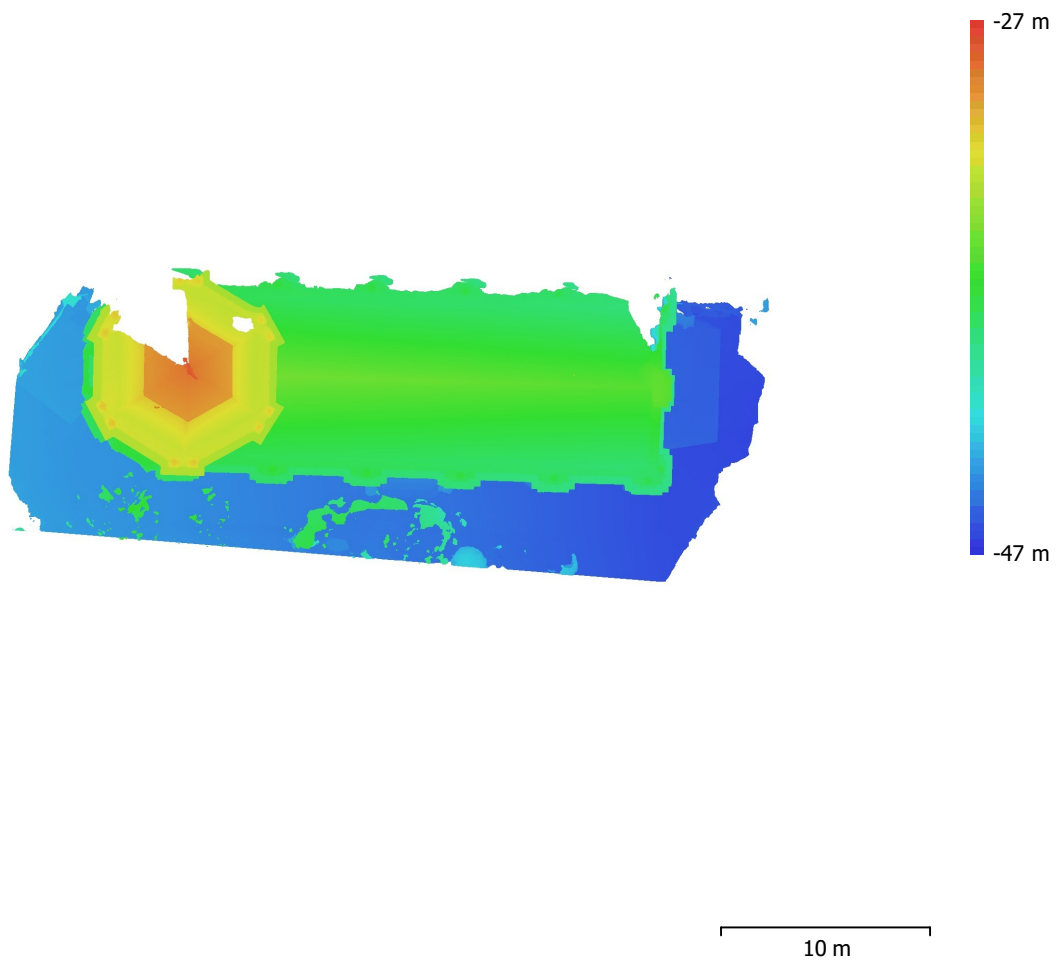


Fig. 6. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 9.88 mm/pix
Point density: 1.03 points/cm²

Processing Parameters

General

Cameras	1332
Aligned cameras	1323
Markers	10
Scale bars	2
Coordinate system	Local Coordinates (m)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Point Cloud

Points	775,654 of 1,915,002
RMS reprojection error	0.279434 (0.868697 pix)
Max reprojection error	0.852495 (44.4477 pix)
Mean key point size	2.69275 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	4.56764

Alignment parameters

Accuracy	Highest
Generic preselection	Yes
Reference preselection	No
Key point limit	100,000
Key point limit per Mpx	1,000
Tie point limit	10,000
Exclude stationary tie points	Yes
Guided image matching	No
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	4 hours 7 minutes
Matching memory usage	1.17 GB
Alignment time	2 hours 21 minutes
Alignment memory usage	2.12 GB
Date created	2022:06:28 18:32:27
Software version	1.8.3.14331
File size	156.88 MB

Depth Maps

Count	1308
Depth maps generation parameters	
Quality	High
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	50 minutes 5 seconds
Memory usage	2.11 GB
Date created	2022:06:28 22:02:10
Software version	1.8.3.14331
File size	1.77 GB

Dense Point Cloud

Points	49,706,635
Point colors	3 bands, uint8
Depth maps generation parameters	
Quality	High
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16

Processing time	50 minutes 5 seconds
Memory usage	2.11 GB
Dense cloud generation parameters	
Processing time	2 hours 56 minutes
Memory usage	12.22 GB
Date created	2022:06:29 00:58:28
Software version	1.8.3.14331
File size	707.48 MB
Model	
Faces	8,473,547
Vertices	4,241,222
Vertex colors	3 bands, uint8
Texture	8,192 x 8,192, 3 bands, uint8
Depth maps generation parameters	
Quality	High
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	50 minutes 5 seconds
Memory usage	2.11 GB
Reconstruction parameters	
Surface type	Arbitrary
Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Strict volumetric masks	No
Processing time	16 minutes 39 seconds
Memory usage	8.25 GB
Texturing parameters	
Mapping mode	Generic
UV mapping time	8 minutes 7 seconds
UV mapping memory usage	3.00 GB
Date created	2022:06:29 11:55:39
Software version	1.8.3.14331
File size	372.25 MB
Orthomosaic	
Size	5,231 x 7,094
Coordinate system	Local Coordinates (m)
Colors	3 bands, uint8
Reconstruction parameters	
Blending mode	Mosaic
Surface	Mesh
Enable hole filling	Yes
Enable ghosting filter	No
Processing time	35 minutes 39 seconds
Memory usage	1.28 GB
Date created	2022:09:08 10:13:31
Software version	1.8.4.14856
File size	2.35 GB
System	
Software name	Agisoft Metashape Professional
Software version	1 8.4 build 14856
OS	Windows 64 bit
RAM	23.91 GB
CPU	Intel(R) Core(TM) i3-6100 CPU @ 3.70GHz
GPU(s)	AMD Radeon R7 200 Series (Bonaire)