

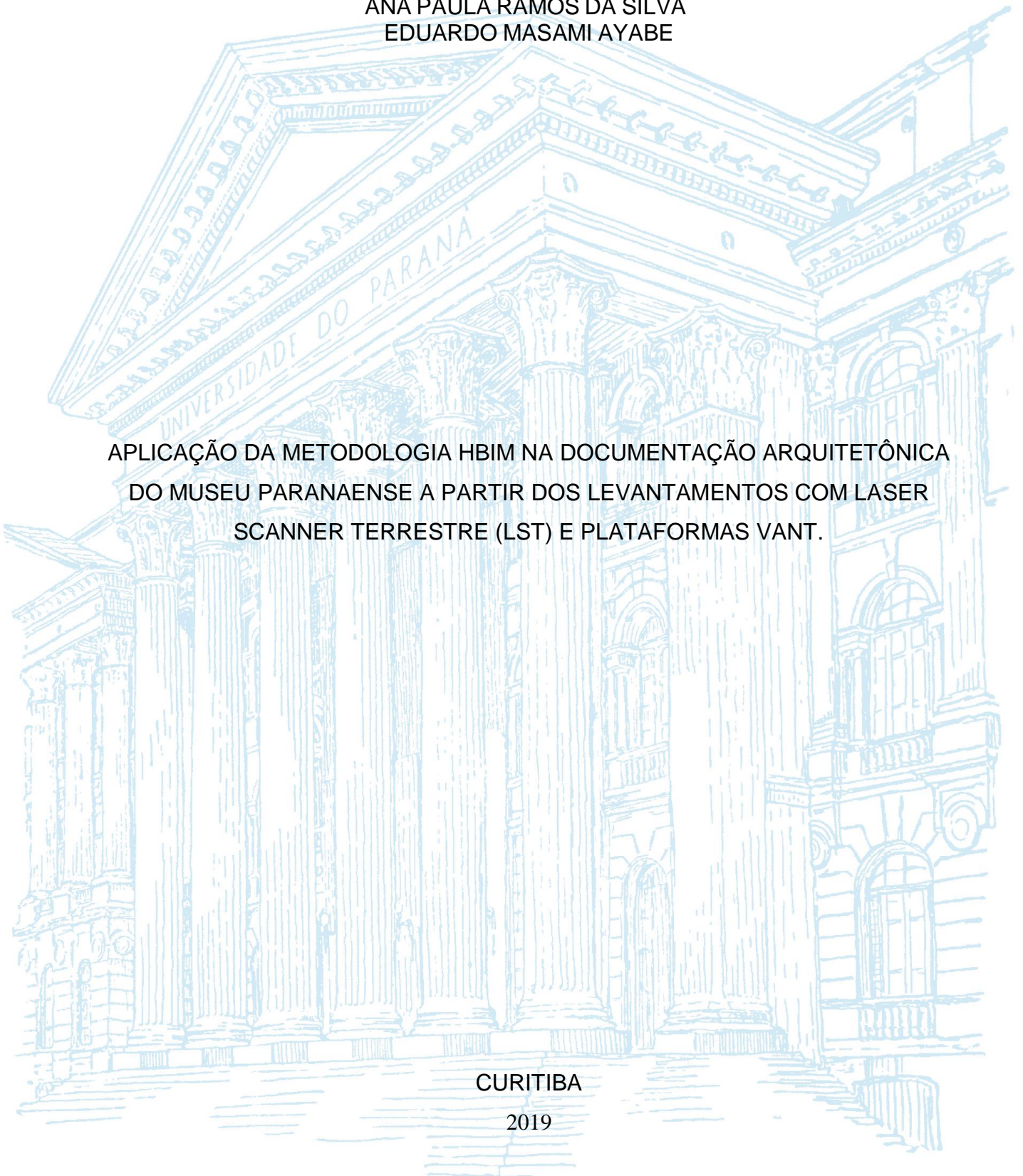
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANA PAULA RAMOS DA SILVA  
EDUARDO MASAMI AYABE

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA HBIM NA DOCUMENTAÇÃO ARQUITETÔNICA  
DO MUSEU PARANAENSE A PARTIR DOS LEVANTAMENTOS COM LASER  
SCANNER TERRESTRE (LST) E PLATAFORMAS VANT.

CURITIBA

2019



ANA PAULA RAMOS DA SILVA  
EDUARDO MASAMI AYABE

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA HBIM NA DOCUMENTAÇÃO ARQUITETÔNICA  
DO MUSEU PARANAENSE A PARTIR DOS LEVANTAMENTOS COM LASER  
SCANNER TERRESTRE (LST) E PLATAFORMAS VANT.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro(a) Cartógrafo(a) e Agrimensor(a).

Orientador: Prof. Dr. Luis Augusto Koenig Veiga  
Orientador: Engenheiro Cartógrafo e Agrimensor  
Samir De Souza Oliveira Alves

CURITIBA

2019

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos nossos orientadores Prof. Dr. Luis Augusto Koenig Veiga e ao Engenheiro Cartógrafo e Agrimensor Samir De Souza Oliveira Alves pela amizade e acompanhamento durante este semestre, acreditando em nosso desenvolvimento e potencial.

Em especial e com carinho agradecemos a Mali Terezinha Blasczyk, Celia Mitiko Ayabe, Takeshi Edison Ayabe aos irmãos Lucia Helena Ramos da Silva, Felipe Ramos da Silva, Henrique Seidi Ayabe e Leonardo Takeshi Ayabe ao namorado e amigo Paulo Hajime Gabasa Arimori, que sempre nos apoiaram e incentivaram durante a fase acadêmica. Ao Paulo Hajime Gabasa Arimori um especial agradecimento pela ajuda na operação do VANT.

Ao Museu Paranaense de Curitiba, e em especial ao Arquiteto Brunno Douat, que disponibilizou o objeto de estudo para a realização do presente trabalho, o nosso muito obrigada.

## RESUMO

Se queres prever o futuro, estuda o passado. Atribuída ao Filósofo chinês Confúcio (551-479 a.C.), esta frase mostra a importância do conhecimento da história como uma ferramenta de planejamento, conhecimento e até mesmo como uma forma de avaliar o que pode acontecer no futuro a partir das experiências do passado. Bens materiais ou naturais que possuem importância na história de determinada sociedade ou comunidade constituem o que se chama de Patrimônio Histórico. O decreto Lei nº25 de 30 de novembro de 1937, que organiza a proteção do patrimônio histórico e artístico nacional, em seu artigo primeiro, define que constitui o patrimônio histórico e artístico nacional o conjunto dos bens móveis e imóveis existentes no país e cuja conservação seja de interesse público, quer por sua vinculação a fatos memoráveis da história do Brasil, quer por seu excepcional valor arqueológico ou etnográfico, bibliográfico ou artístico. Uma das formas de preservação deste patrimônio histórico é o seu registro e mapeamento tridimensional, usado modernamente como informação para planejamento e gerenciamento nos chamados HBIM (*Historic Building Information Modeling*). Neste trabalho é apresentado um estudo metodológico na qual o(a) Engenheiro(a) Cartógrafo(a) e Agrimensor(a) pode atuar auxiliando na preservação de monumentos históricos, apoiando-se no registro da reconstrução tridimensional de fachadas externas, utilizando Vant e ambientes internos de construções, utilizando Laser Scanner Terrestre (LST). As técnicas aplicadas foram voltadas para a Modelagem da Informação de Edifício Histórico (HBIM), a partir da qual é possível a retirada das informações métricas dos detalhes arquitetônicos da edificação modelada.

Como resultado deste trabalho é apresentada a modelagem de uma parte do Museu Paranaense, composta pela fachada interna e interior, modelados a partir dos dados LST e de RPA, em um ambiente voltado para aplicações BIM.

Palavras-chave: HBIM, Laser Scanner Terrestre, ARP. BIM

## **ABSTRACT**

Whether you want to visualize the future, the study or the past. Attributed to the Chinese Confucius Philosopher (551-479 BC), this sentence shows the importance of knowledge of history as a planning tool, knowledge and even as a way of assessing or what can happen in the future from past experiences. Material or natural goods that have importance in the history of the specified society or community that can cause the flame of Historical Heritage. Decree Law No. 25 of November 30, 1937, which organizes the protection of national historical and artistic heritage, in its first article, defines the classification of national historical and artistic heritage or the set of movable and residential real estate in the country and whose origin is of public interest, search for its link to memorable facts of the history of Brazil, search for its exceptional archaeological or ethnographic, bibliographical or artistic value. One of the ways in which this historic heritage is conserved is its three-dimensional registration and mapping, which is used in a modern way as planning and management information on HBIM (Historical Building Information Modeling) requirements. In this paper, a methodological study is presented for a Cartographer and Surveyor Engineer who can act as an aid in the conservation of historical monuments, relying on the record of three-dimensional reconstruction of external facades using RPA. And indoor building environments using Terrestrial Laser Scanner (LST). As applied techniques were turned to HBIM (Historical Building Information Modeling), from which it is possible to remove the metric information from the architectural details of the modeled modeling.

As a result of this work, send a modeling of a part of the Parana Museum, composed by the internal and internal façade, modeled from LST and RPA data, in an environment focused on BIM applications.

**KEY-WORDS:** HBIM. TERRESTRIAL LASER SCANNER. ARP.

## LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

BIM	- <i>Building Information Modelling</i>
HBIM	- <i>Historic Building Information Modelling</i>
GSA	- <i>General Service Administration</i>
EUA	- Estados unidos da América
AIA	- <i>American Institute of Architecture</i>
LOD	- <i>Level Of Detail</i>
LST	- Laser Scanner terrestre
VANT	- Veículo aéreo não tripulado
ARP	- Aeronave remotamente não tripulada
IEC	- <i>International Electrotechnical Commission</i>
SIFT	- <i>Scale Invariant Transform</i>
SFM	- <i>Structure from Motion</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\varphi$  - ângulo phi

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – IMPLANTAÇÃO BIM .....	17
QUADRO 2 – PADRÃO BÁSICO PARA IMPLANTAÇÃO DA METODOLOGIA BIM .....	18
QUADRO 3 – LEVEL OF DETAIL ( <i>LOD</i> ).....	19
QUADRO 4 – CONFIGURAÇÕES DE ESCANEAMENTO DO BLK 360.....	29



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – NÍVEIS DE DETALHAMENTO NA METODOLOGIA BIM .....	22
FIGURA 2 – FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO .....	26
FIGURA 3 – PALACETE GARMATTER .....	27
FIGURA 4 – RASCH HAUS .....	27
FIGURA 5 – MAVIC 2-PRO .....	29
FIGURA 6 – CAMPO DE VARREDURA PANORÂMICA DO BLK360 .....	30
FIGURA 7 – ESTAÇÃO TOTAL ROBÓTICA TS15 .....	31
FIGURA 8 – LOCALIZAÇÃO DO PONTO MATERIALIZADO NO JARDIM .....	41
FIGURA 9 – PONTOS DE APOIO NO MURO .....	42
FIGURA 10 – LOCALIZAÇÃO DAS PONTARIAS NOS ELEMENTOS DECORATIVOS .....	43
FIGURA 11 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS 27 E 28 .....	44
FIGURA 12 – ESTAÇÃO TOTAL INSTALADA NO INTERIOR DA SALA .....	44
FIGURA 13 – ALVO PARA OS PONTOS DE APOIO INTERNO .....	45
FIGURA 14 – AQUISIÇÃO DE DADOS ESPACIAIS DA FACHADA DO MUSEU .....	46
FIGURA 15 – RECOBRIMENTO DE FOTOS .....	47
FIGURA 16 – ANGULAÇÃO DA CÂMERA .....	48
FIGURA 17 – CAMINHO PERCORRIDO PELO VOO .....	48
FIGURA 18 – DISPOSIÇÃO DAS FOTOS .....	48
FIGURA 19 – ETAPAS DO PROCESSAMENTO DAS IMAGENS AÉREAS .....	50
FIGURA 20 – DISTRIBUIÇÃO DOS ALVO .....	51
FIGURA 21 – CROQUI DE LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE VARREDURA LASER .....	52
FIGURA 22 – FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DE PROCESSAMENTO DOS DADOS LASER SCANNER .....	51
FIGURA 23 – FLUXOGRAMA DA UNIÃO DAS NUVENS DE PONTOS .....	53
FIGURA 24 – PRÉ ORIENTAÇÃO DA NUVEM DA FACHADA .....	54
FIGURA 25 – REFERENCIAMENTO DA FACHADA .....	55
FIGURA 26 – REFERENCIAMENTO DA PRIMEIRA PARCELA DA SALA .....	56
FIGURA 27 – REFERENCIAMENTO DA SEGUNDA PARCELA DO MUSEU .....	56
FIGURA 28 – AS NUVENS DOS DOIS PROCESSAMENTOS UNIDAS .....	57
FIGURA 29 – AS NUVENS DOS DOIS PROCESSAMENTOS VISTA EM PERFIL LATERAL .....	58
FIGURA 30 – DELIMITAÇÃO DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS .....	60
FIGURA 31 – EXTRAÇÃO DE MEDIDAS DA PORTA .....	60
FIGURA 32 – MODELAGEM EM CIMA DA NUVEM DE PONTOS .....	61
FIGURA 33 – EXTRUSÃO: (A) MODELAGEM POR EXTRUSÃO EXEMPLO; (B) MODIFICAÇÃO DA DIMENSÃO DO MODELO POR EXTRUSÃO .....	62
FIGURA 34 – MODELAGEM DE VARREDURA: (A) PERCURSO; (B) PERFIL; (C) MODELO GERADO .....	63
FIGURA 35 – EVOLUÇÃO: (A) PERFIL PARA A REVOLUÇÃO; (B) EIXO DE ROTAÇÃO; (C) SÓLIDO CRIADO PELA MODELAGEM POR REVOLUÇÃO .....	63
FIGURA 36 – GRADE DA LAREIRA NA NUVEM DE PONTOS .....	64
FIGURA 37 – GRADE DA LAREIRA: (A) FOTO DA GRADE; (B) MODELO DA GRADE .....	65
FIGURA 38 – DECALQUE: (A) DETALHE DA LAREIRA; (B) DETALHES DA ESCADA .....	66
FIGURA 39 – MATERIAL PISO .....	66
FIGURA 40 – NUVEM DE PONTOS DA FACHADA .....	67
FIGURA 41 – TRIDIMENSIONALIDADE DA FACHADA EXTERNA: (A) VISTA NA TRANSVERSAL; (B) VISTA LATERAL ..	68
FIGURA 42 – DETALHE DA NUVEM DE PONTOS DA FACHADA EXTERNA: (A) VISTA DA JANELA DO 2º PISO; (B) VISTA DA PERSIANA .....	68
FIGURA 43 – NUVEM DE PONTOS SALA SÃO FRANCISCO: (A) VISTA HALL; (B) VISTA ESCADA; (C) VISTA JANELA; (D) VISTA LAREIRA .....	69
FIGURA 44 – UNIÃO DAS NUVENS DE PONTOS .....	70
FIGURA 45 – PORTA 1: (A) MODELO 1; (B) MODELO 2; (C) MODELO 3 .....	72
FIGURA 46 – JANELA .....	72
FIGURA 47 – LAREIRA: (A) FOTO DA LAREIRA; (B) MODELAGEM DA LAREIRA .....	73
FIGURA 48 – MODELO E LOCALIZAÇÃO DA PAREDE DA ESCADA .....	73
FIGURA 49 – PAREDE DA ESCADA RENDERIZADA .....	74
FIGURA 50 – MODELO E LOCALIZAÇÃO DA PAREDE LAREIRA .....	74
FIGURA 51 – PAREDE DA LAREIRA RENDERIZADA .....	75

FIGURA 52 – LAREIRA RENDERIZADA .....	75
FIGURA 53 – MODELO E LOCALIZAÇÃO DA PAREDE JANELA.....	76
FIGURA 54 – PAREDE JANELA RENDERIZADA.....	76
FIGURA 55 – MODELO E LOCALIZAÇÃO DA PAREDE HALL .....	81
FIGURA 56 – PAREDE HALL RENDERIZADA .....	81

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	JUSTIFICATIVA .....	15
1.2	OBJETIVOS.....	16
1.2.1	Objetivo geral .....	16
1.2.2	Objetivos específicos.....	16
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1	<i>BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)</i> .....	17
2.1.1	Padrão BIM .....	18
2.1.2	Nível de Detalhamento ou <i>Level Of Detail (LOD)</i> .....	19
2.2	HISTORIC BUILDING INFORMATION MODELING (HBIM) .....	20
2.3	SISTEMA LASER SCANNER TERRESTRE .....	23
2.4	FOTOGRAMETRIA EMPREGANDO-SE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO.....	24
2.5	SCALE INVARIANT TRANSFORM .....	25
3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	26
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	26
3.2	EQUIPAMENTOS E MATERIAIS .....	28
3.2.1	Vant DJI Mavic 2 .....	28
3.2.2	Laser Scanner Terrestre BLK360 .....	29
3.2.3	Estação total TS15.....	30
3.2.4	Computador do processamento do aerolevanteamento .....	31
3.2.5	Computador do processamento do levantamento laser terrestre.....	31
3.2.6	Softwares e aplicativos utilizados .....	32
3.2.7	Elaboração da implantação do Sistema Topográfico Local .....	32
3.2.8	Aquisição de dados espaciais da fachada do museu .....	46
3.3	MÉTODOS.....	49
3.3.1	Processamento do voo.....	49
3.3.2	Aquisição da varredura laser interna do Museu.....	50
3.3.3	Processamento da nuvem de pontos.....	51
3.3.4	União das nuvens de pontos .....	52
3.3.5	Geração do Modelo HBIM.....	58
4	RESULTADOS .....	67
4.1	RESULTADO DO LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO.....	67
4.2	RESULTADO DO LEVANTAMENTO LASER TERRESTRE.....	69
4.3	RESULTADO DA JUNÇÃO DOS PRODUTOS .....	69

4.4	RESULTADO DA MODELAGEM HBIM .....	70
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	82
5.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	83
	REFERÊNCIAS .....	84
	ANEXO 1 – LINK PARA SALA SÃO FRANCISCO RENDERIZADA .....	87

## 1 INTRODUÇÃO

A busca do ser humano por projetos que visem a representação da realidade, de forma cada vez mais fidedigna, está vinculada a investigação de tecnologias disponíveis no mercado capazes de fornecerem dados acurados e do ambiente ou objeto levantado. Atualmente, as evoluções tecnológicas em medição remota vêm permitindo a obtenção, de densas nuvens de pontos tridimensionais (3D) como um dos produtos primários. Os principais meios de instrumentos passíveis de geração desses produtos são os sistemas Laser Scanner Terrestre (LST) e os sensores imageadores, os quais vêm sendo aprimorados e atualizados cada vez mais rápidos para sanar a necessidade do homem em reconstruir a realidade baseado em dados primários mais confiáveis, seja no ramo da engenharia, arquitetura, arqueologia ou avanços científicos.

Sendo assim, nota-se que não basta a obtenção da informação tridimensional da realidade no sistema digital, mas a forma de tratamento dos dados e armazenamento dos produtos elaborados também são etapas importantes do processo de modelagem da realidade. Além disto, associar informações não métricas a estas representações, e estabelecer a conexão entre elas tem-se mostrado uma poderosa ferramenta de gestão e, no caso de estruturas consideradas como o patrimônio histórico, também de preservação. A integralização entre áreas que visam este objetivo fez surgir a metodologia da Modelagem da Informação da Construção, do inglês *Building Information Modelling* (BIM).

A metodologia BIM teve início em meados de 1970 pelo Professor Charles M. Eastman, do Instituto de Tecnologia da Geórgia, segundo Barison (2015), inicialmente tinha apenas com o caráter de modelagem de informações evoluindo posteriormente para uma representação digital no processo de construção, facilitando a integração e operação de dados por diversas áreas envolvida em um projeto.

A estrutura BIM tende a abranger a geometria, em relações espaciais, a quantidade e propriedades dos componentes envolvidos, ou seja, a partir da criação de um projeto arquitetônico por exemplo, todos os detalhes necessários para a validação da obra e sua execução serão associados ao sistema modelo BIM. Dentre a modelagem voltada à edifícios, atualmente destaca-se a aplicação do método BIM para estruturas arquitetônicas históricas, denominado por *Historic Building Information Modelling* (HBIM). Segundo Rodríguez-Moreno (2016), HBIM é um protótipo virtual do

edifício histórico, constituído por um banco de dados dos monumentos contendo as informações geométricas, históricas e arqueológicas.

No Brasil, de acordo com Bastian (2015), a preocupação com a proteção e conservação de monumentos históricos torna-se mais explícita a partir da década de 20, com a Semana de Arte Moderna (1922). Entretanto, as atividades de voltadas a preservação são início apenas em 1933 com o tombamento da cidade de Ouro Preto, no estado de Minas Gerais. O decreto Lei nº25 de 30 de novembro de 1937, que organiza a proteção do patrimônio histórico e artístico nacional, em seu artigo primeiro, define:

*“Art. 1º Constitue o patrimônio histórico e artístico nacional o conjunto dos bens móveis e imóveis existentes no país e cuja conservação seja de interesse público, quer por sua vinculação a fatos memoráveis da história do Brasil, quer por seu excepcional valor arqueológico ou etnográfico, bibliográfico ou artístico”.*

Já a constituição Federal no seu Artigo 23, item III diz que é competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios: proteger os documentos, as obras e outros bens de valor histórico, artístico e cultural, os monumentos, as paisagens naturais notáveis e os sítios arqueológicos.

O Engenheiro Cartógrafo e Agrimensor munido de conhecimento em modelagem 3D, estruturas geodésicas e armazenamento de dados vem trazendo sua contribuição ao sistema BIM, buscando facilitar a integração entre outras áreas técnicas e visando o melhor desenvolvimento, acompanhamento e manutenção do projeto.

Neste trabalho, são apresentadas as diferentes metodologias para elaboração da nuvem de pontos tridimensionais e aplicação da metodologia HBIM no Museu Paranaense, em Curitiba – PR, com a reconstrução 3D de uma das salas internas e parte da fachada, finalizando com a junção destes dois produtos em um sistema de referência topográfico local, contribuindo para a geração de um acervo tridimensional da estrutura.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Conforme explicitado por Bastian (2015), os patrimônios culturais, mais especificamente quanto a parte arquitetônica, estão sujeitos a eventos extremos, como inundações, deslizamentos de terra, terremotos, entre outros, capazes de degradá-los e levar a perda de informação. A autora lista eventos como nas enchentes de Florença (Itália) em 1966, o terremoto que destruiu parcialmente a cidade de Bam (deserto Iraniano) em 2003 e o impacto da guerra do Afeganistão que destruiu o templo budista de Tepe Shutur-e-Hadda e a torre de Chakari.

Apesar das iniciativas que visavam a documentação dos monumentos históricos, como o Inventário de Proteção e Valorização do Patrimônio Cultural do Estado do Rio de Janeiro em 1983 (BASTIAN, 2015), em 2018 o Brasil viveu uma perda significativa da sua história, o incêndio do Museu Nacional, instituição alocada na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) desde 1946, localizado na cidade do Rio de Janeiro (KELLNER, 2019).

Além da própria arquitetura histórica do palácio de São Cristóvão abrigou a família real portuguesa e a família imperial (KELLNER, 2019), Da Silva e Sá et. al. (2008) indicaram a abundância do acervo presente no museu, composto por coleções variadas, adquiridas em diferentes períodos de sua história. Estes eram constituídos por milhares de peças, que incluem, entre outras, remanescentes ósseos humanos de procedência arqueológica, instrumentos e aparelhos de medidas em antropologia física e material fotográfico.

Sabendo da importância de um acervo histórico e de edificações arquitetônicas dos séculos passados, o homem vem reconhecendo o mapeamento tridimensional como um aliado para auxiliar em momentos como esse de perdas físicas. Os Engenheiros Cartógrafos e Agrimensores juntamente com outros profissionais, vêm auxiliando o desenvolvimento da metodologia HBIM, que pode ser usada para registrar e documentar edificações históricas com um alto nível de detalhamento.

A metodologia BIM, justifica-se pela necessidade do registro digital de informações de forma a tornar mais eficiente a gestão de edificações, auxiliando na construção, manutenção, restauração ou reconstrução do edifício. Dando ao usuário do sistema detalhes importantes como medidas, materiais e estados de conservação dos objetos.

Considerando a importância histórica do Palácio São Francisco, onde está localizado o Museu Paranaense, e a contribuição quanto a qualidade posicional dos dados elaborados a partir de instrumentos geodésicos, decidiu-se realizar a reconstrução 3D parcial do Palácio São Francisco com base na metodologia BIM, apresentando a importância da metodologia e suas contribuições técnicas.

## 1.2 OBJETIVOS

Nos itens a seguir serão abordados os objetivos geral e específico propostos para o desenvolvimento deste trabalho.

### 1.2.1 Objetivo geral

Realizar a Modelagem da Informação da Construção Histórica (HBIM) na documentação arquitetônica da sala São Francisco e fachada parcial a partir dos levantamentos com LST e plataformas VANT, objetivando a criação de base de dados para ambientes HBIM.

### 1.2.2 Objetivos específicos

1. Estabelecer um sistema de referência local do projeto;
2. Realizar o levantamento arquitetônico terrestre dos dados espaciais do museu;
3. Realizar o levantamento arquitetônico aéreo do museu;
4. Elaborar o sistema de referência local do projeto;
5. Modelar as feições geométricas levantadas;
6. Elaborar o HBIM do ambiente interno;
7. Unir as nuvens de pontos oriundas de diferentes técnicas de levantamento.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo serão apresentados os conceitos, metodologias e características aplicadas ao Levantamento tridimensional empregando-se Laser Scanner Terrestre, fotogrametria apoiada por Vant e sobre o sistema BIM.



## 2.1 BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)

Uma das primeiras definições para o BIM, é que se trata de um modelo digital que não só documenta o design da edificação, mas também estimula a construção, operação e a reorganizações das instalações. Esse conceito foi estabelecido em 2003 pela *General Service Administration (GSA)*, dos Estados unidos da América (EUA), afirmando que a metodologia não se trata apenas da modelagem tridimensional, mas principalmente a inclusão de informações que integram o sistema de modo a poder produzir simulações e otimizações do projeto, assim garantindo o gerenciamento das instalações.

De acordo com Campbell (2006) o BIM é uma importante ferramenta da arquitetura, possuindo 6 informações essenciais a sua existência: ser um modelo digital, possuir características espaciais, ser mensurável (quantificável e dimensionável), ser abrangente, acessível e durável.

Para Eastman (2011), o método BIM pode ser útil para o ciclo de vida das edificações, não só durante o período de construção da edificação, mas podendo também ser utilizado no gerenciamento da manutenção e preservação das construções.

Barbosa (2018) indica que a abordagem BIM como um processo que utiliza diferentes tipos de *softwares*, permitindo a interpretação e registro digital das características físicas e funcionais do ambiente construído. Segundo o autor, o BIM é caracterizado pela disponibilidade e conectividade de todas as informações que se tornaram parte de um projeto de construção, como dimensionalidade, 2D, 3D, 4D (relacionado ao tempo) ou 5D (relacionado ao custo).

O QUADRO 1 apresenta algumas características, que ao longo do desenvolvimento de um projeto que envolva 3D, 4D e linguagem BIM podem ser incrementadas, demonstrando a extensão de oportunidades que podem estar disponíveis com a sua implantação.

QUADRO 1 – IMPLANTAÇÃO BIM

Tecnologia	Área de projeto	Melhorias
3D Laser Scanner	<i>As- built</i> Informações da construção	Qualidade Precisão

Modelos geométricos	Terreno Arquitetura Estrutural Mecânica, elétrica e hidráulica Coordenação de projeto Construção	Coordenação Eficiência
Coordenação de projeto e construção	Coordenação entre disciplinas Detecção de conflitos	
Modelo 4D	Fase de projeto Fase de inquilino Sequenciamento de construção Estudo de tráfego	
Modelos BIM	Terreno Arquitetura (Espaço e Circulação) Estrutural Mecânica Informações do equipamento Programação de manutenção	
Aplicações de análise BIM	Gerenciamento de programas GIS Análise e testes Acústica Estimativa de custo Inventário de equipamentos Gerenciamento de instalações	

Fonte: Adaptado de U.S. General Services Administration (2019).

### 2.1.1 Padrão BIM

Ao longo do desenvolvimento de uma modelagem BIM é possível encontrar objetos com diferente complexidades e origens, que irão se relacionar. Para que ocorra um desenvolvimento padrão ao longo do projeto pode-se utilizar diretrizes que visam facilitar o trabalho da equipe de gerenciamento do sistema.

Baseando-se no padrão da *General Service Administration* (GSA), o QUADRO 2 ressalta os principais itens que devem ser considerados para manter o padrão da metodologia.

QUADRO 2 – PADRÃO BÁSICO PARA IMPLANTAÇÃO DA METODOLOGIA BIM

Tipo	Descrição	Detalhe Obrigatório	Exemplo
Geometria	Produtos como design e acabamentos com alto nível de detalhamento	Cor Brilho Textura	Janela Porta
	Componentes técnicos, não aparentes e sem grau de aparência relevante	-	Cerâmica
Pontos de inserção	Interação com outros objetos que necessite dimensionar um sistema de instalação	Ligação Localização	Pia de banheiro Vaso sanitário Telhas

Situação do objeto	Modelagem Isolada do objeto.	-	Caixa de descarga, sendo vistoriada pela manutenção.
	Modelagem em Conjunto do objeto	-	Vaso sanitário com descarga acoplada, sendo orçada para compra.
Modelagem Paramétrica	Fixa Ajuste de tamanho ou detalhes	-	Porta Janela
	Semi-paramétrico: permite ajustar apenas as medidas totais	Largura total Altura total	Porta Janela
	Totalmente paramétrico: permite ajustar todos os detalhes	Largura total Altura total Largura da vista Largura do vidro Tipo de pegador	Porta Janela
Especificações e propriedades	Características essenciais para o andamento do projeto	Especificações técnicas Funcionamento	Tubulação de esgoto
IFC	Garante a troca consistente de dados de diferentes aplicações de seus softwares específicos.	Classificação dos objetos conforme sua correspondência	Dados Revit transferidos para Sketchup

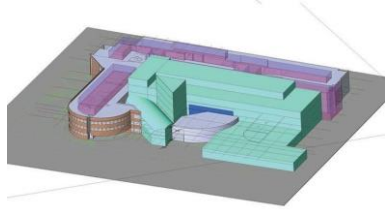
FONTE: Adaptado de U.S. *General Service Administration* (2019).

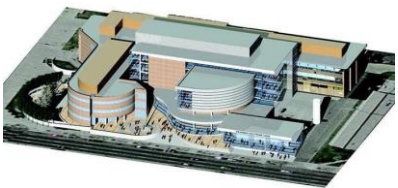

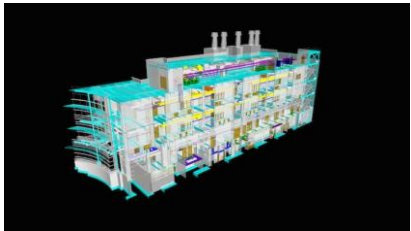

### 2.1.2 Nível de Detalhamento ou *Level Of Detail* (LOD)

Conforme o Instituto Americano de Arquitetura (*American Institute of Architecture - AIA*, 2008), o *Level Of Detail* (LOD) é uma ferramenta de referência que, ao longo do tempo, apresenta o andamento do projeto, podendo manter todos os técnicos que alimentam o sistema em um mesmo período de projeto.

Essa padronização estipulada ao longo do tempo permite uma melhor qualidade da comunicação entre os usuários e as características dos elementos representados no modelo.

QUADRO 3 – LEVEL OF DETAIL (LOD)

Nível - fase	Informação	Ilustração
100 - Conceitual	Modelo mais primitivo, representação geral. Análises preliminares para auxiliar a fase de construção	

<p>200 - Geometria Aproximada</p>	<p>Modelo com geometria aproximada dos elementos que compõem a edificação, possibilidade de se inserir informações não métricas nos objetos.</p>	
<p>300 - Geometria Precisa</p>	<p>Modelo com geometria precisa dos elementos que compõem a edificação. Possibilidade de se inserir informações não métricas nos objetos</p>	
<p>400 - Geometria Precisa (modelo de Fabricação)</p>	<p>Modelo com geometria precisa dos elementos, visando a fabricação e montagem. Possibilidade de inserir informações não métricas nos objetos</p>	
<p>500 - As build</p>	<p>Modelo realizado pós construção. Integração dos modelos (LOD-300 e LOD-400). Os objetos devem ser vinculados aos seus registros (custo, compra e venda, manutenção, informações específicas do objeto e outras informações relevantes a gestão do ciclo de vida da edificação)</p>	

FONTE: Adaptado De U.S. General Services Administration (2019).

## 2.2 HISTORIC BUILDING INFORMATION MODELING (HBIM)

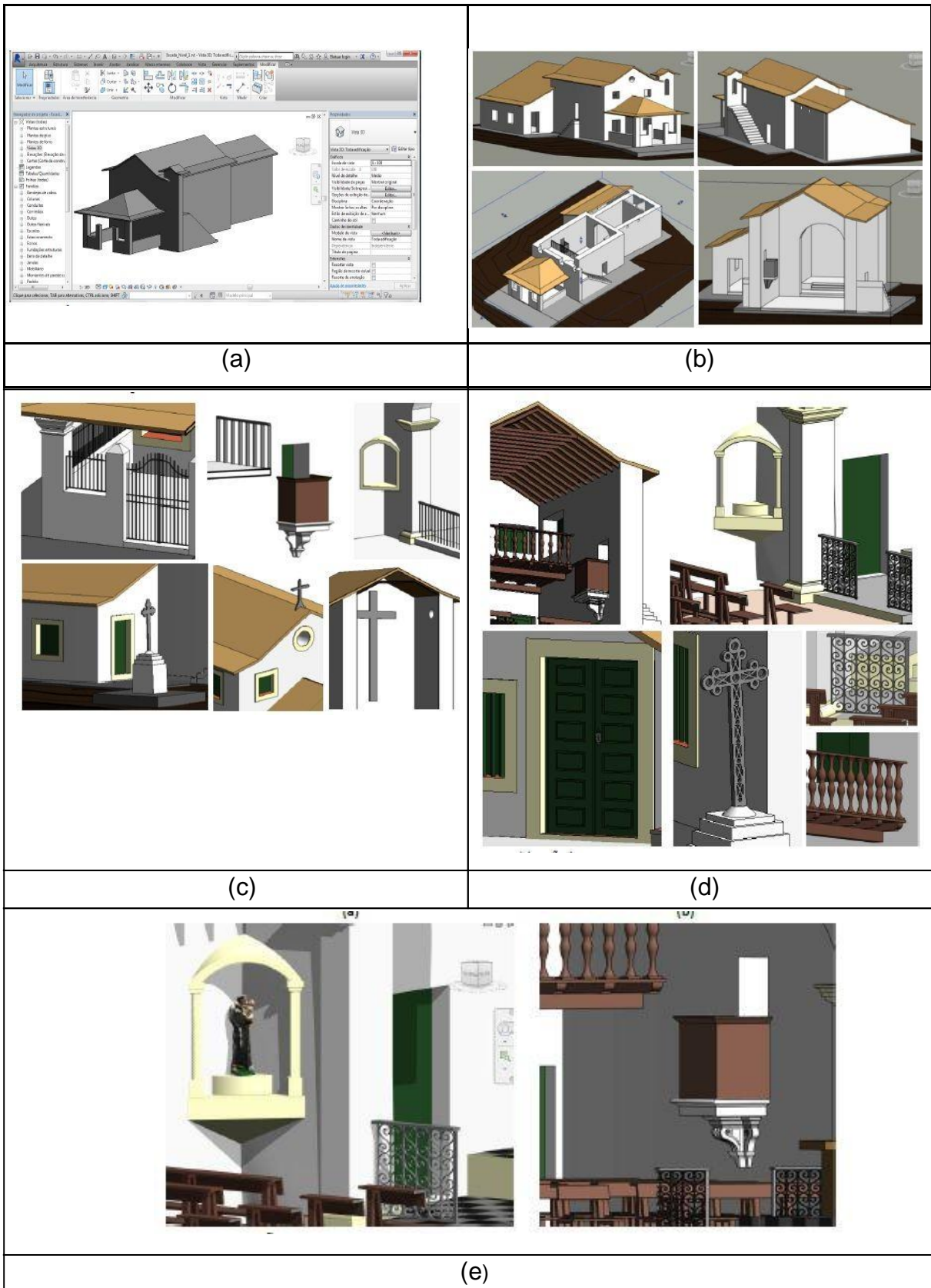
Segundo Tolentino (2015), o HBIM é a metodologia BIM aplicada nas edificações históricas. Neste, utiliza-se a engenharia reversa na qual se realiza o levantamento da edificação já construída utilizando técnicas fotogramétricas ou laser scanner, gerando-se os objetos paramétricos através dos dados levantados, para a geração do modelo tridimensional da edificação contendo as informações dos objetos

como materiais, pintura e métodos construtivos.

Groetelaars (2015) classificou em cinco níveis distintos de detalhamento modelagem de edificações históricas, nas quais são mostradas as finalidades por nível de detalhes do modelo:

- **Nível 1:** Afastamento da nuvem de pontos 75 mm; desvio do modelo 200 mm. Volumetria externa, contemplando parede e cobertura. Com o intuito de identificação de áreas prioritárias, a localização da edificação na área urbana (FIGURA 1 – a);
- **Nível 2:** Afastamento da nuvem de pontos 30 mm; desvio do modelo 100mm. Modelagem simplificada dos elementos construtivos principais do exterior e interior (janelas, portas, escadas, piso e forro) e modelagem do terreno. Finalidade para estimativa de áreas e volume, podendo ser utilizado para a análise de viabilidade e manutenção (FIGURA 1 – b);
- **Nível 3:** Afastamento da nuvem de pontos 15 mm; desvio do modelo 50 mm; desvio de detalhes 20 mm. Inclusão de elementos básicos (utilização da biblioteca de famílias já existentes), criação de elementos de famílias de baixo nível de detalhes só quando necessário. Finalidade para o planejamento funcional, base para pequenas intervenções na edificação (FIGURA 1 – c);
- **Nível 4:** Afastamento da nuvem de pontos 5 mm; desvio do modelo 25 mm; desvio de detalhes 10 mm. Utilização de famílias com nível de detalhamento médios, descrição dos materiais de acabamento dos elementos principais. Finalidade para a documentação arquitetônicas de edificações de interesse histórica-cultural, base para projetos de intervenção (FIGURA 1 – d);
- **Nível 5:** Afastamento da nuvem de pontos 3mm; desvio do modelo 10 mm, desvio de detalhes 4 mm. Criação de famílias com alto nível de detalhes, informações semânticas associadas aos elementos construtivos deverão ser inseridas, inserção de texturas com imagens foto realistas em trechos relevantes. Finalidade documentação arquitetônicas de edificações de interesse histórica-cultural, monitoramento estrutural, base para projetos de intervenção mais complexos (FIGURA 1 – e).

FIGURA 1 – NÍVEIS DE DETALHAMENTO NA METODOLOGIA BIM



FONTE: Groetelaars (2015).

## 2.3 SISTEMA LASER SCANNER TERRESTRE

A avançada tecnologia Laser Scanner terrestre (LST) é um sistema que mensura e determina automaticamente milhões de pontos amostrais. Seu processo de obtenção de dados se dá a partir da realização de uma varredura laser, ao redor da locação do instrumento.

Os pontos com coordenadas tridimensionais obtidos pelo LST são determinados por meio mensuração primária dos ângulos verticais, ângulos horizontais e distâncias durante a varredura laser. A partir delas é possível obter as informações tridimensionais (coordenadas) dos objetos ao redor da locação do equipamento. (PETRIE; TOTH, 2018).

Dentre as possíveis classificações dos LST, estes podem ser diferenciados conforme o campo de varredura, modo de levantamento e a técnica de medição. Em relação ao campo de varredura do instrumento, este pode ser do tipo panorâmico, o qual não registra dados apenas na base do instrumento e possui leitura angular horizontal de 360° e mínima na vertical de 180°; LST híbridos nos quais um eixo realiza rotação completa e outro possui inclinação limitada, sendo comumente a cobertura angular horizontal de 360° e vertical geralmente de 50° e 60°, sendo este aplicado em trabalhos como levantamentos em pedreiras profundas e áreas urbanas; e LST do tipo câmera, nos casos em que o campo de varredura possui faixa angular para varredura limitada, semelhante aos quadros de câmeras convencionais, frequentemente aplicado em levantamentos de fachadas.

Conforme mencionado anteriormente, um dos elementos que distinguem LST corresponde ao método de medição de distâncias presente no sistema. Habitualmente denominada por *time-of-flight* ou *Light Detection And Ranging* (LIDAR) (WUTKE, 2006), é o método de medição de distância por intervalo de tempo de propagação de uma onda eletromagnética, tornando possível alcançar grandes distâncias em metros. Este método diferencia-se dos demais em razão da capacidade de alcance na medição de distâncias, a qual pode chegar a milhares de metros (PETRIE; TOTH, 2018).

De acordo com Groetelaars e Amorim (2011), os dados obtidos pelos levantamentos com LST podem ser usados para finalidades como medição de estruturas, visualização tridimensional, “renderização”, animação e para criação de modelos geométricos básicos a serem retrabalhados em ferramentas CAD ou, mais

recentemente, em ferramentas BIM. Nestes casos, a partir das nuvens de pontos são elaborados modelos mais complexos como de superfície ou de sólido, que podem ser paramétricos ou não. Os autores listam como etapas do processo de modelagem a partir da nuvem de pontos o planejamento, a aquisição dos dados (varredura a laser dos objetos e dos alvos), o pré-processamento (registro das cenas e filtragem da nuvem de pontos), o processamento (segmentação, modelagem de feições 2D e 3D, otimização e edição do modelo), análise da precisão do modelo gerado e exportação dos produtos.

## 2.4 FOTOGRAMETRIA EMPREGANDO-SE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO

O Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), também conhecido como Aeronave Remotamente Pilotadas (*Remotely Piloted Aircraft* - RPA) ou Drone, são plataformas controladas por operadores a distância por meio de controles. A comunicação entre ambos ocorre através de um sistema de rádio. O VANT aplicado à obtenção de imagens surgiu no século XIX e se modernizaram na Segunda Guerra Mundial, desenvolvendo-se para fins de defesa e espionagem militar (COLOMINA et al., 2008).

De acordo com Roberto (2013), a adaptação de sensores imageadores nas plataformas VANT aplicados às pesquisas de uso civil foram iniciadas a partir dos anos de 1960. O advento de novas tecnologias como *Global Positioning System* (GPS) e *Inertial Navigation System* (INS) e a integração dessas ao VANT viabilizaram a extração de informações geográficas de forma cada vez mais precisas, possibilitando métodos como o georreferenciamento direto no momento de tomada das imagens.

Visockiene *et. al* (2016) destaca 8 (oito) parâmetros em projetos de Fotogrametria com a aplicação da tecnologia RPA, que são:

- Delimitação da área a ser levantada;
- Modelo da câmera e seus parâmetros;
- Escala desejada;
- Sobreposição longitudinal e transversal;
- Direção de voo;
- Velocidade de voo;
- Altura de voo;
- Dados do sistema de coordenadas.



O levantamento de dados por VANT pode ser aplicado no acompanhamento temporal de uma obra, sendo uma ferramenta que capaz de facilitar as atividades de engenharia.

A captura das fotografias possibilita a geração de nuvens de pontos 3D e extração de informações métricas da mesma. O detalhamento dos produtos, quando comparados a técnicas tradicionais de Sensoriamento Remoto e Fotogrametria, caracteriza uma das vantagens do VANT (CASSEMIRO E PINTO, 2014), o que pode viabilizar a identificação de fatores de difícil acesso ao homem como, por exemplo, a visualização de fissuras em fachadas de um prédio alto.

O uso da técnica de levantamento por VANT permite aplicações do registro arquitetônico, arqueológicos, modelo digital do terreno, serviços de agricultura, engenharia reversa, segurança pública, gestão costeira, entre outros (KARACHALIOU et al., 2019; COLOMINA et al., 2008).

## 2.5 SCALE INVARIANT TRANSFORM

O *Scale Invariant Transform* (SIFT) é um algoritmo utilizado para detectar a correspondência entre pontos homólogos a partir de no mínimo duas imagens, indiferente da variação da escala e rotação de cada foto (LOWE,2004).

Inicialmente o algoritmo realiza a detecção da escala individualmente de cada foto e o local da qual foi tomada, através de uma diferença Gaussiana, é possível realizar assim a detecção pontos de interesse, sem considerar que existe a diferença de escala e orientação entre as fotografias. Os pontos de interesse são detectados através de uma média entre a estabilidade de cada ponto e sua variação de escala e orientação.

Os pontos de interesse recebem a orientação final a partir do gradiente de direções, o gradiente de direções é gerado conforme o gradiente individual de cada imagem. Ao atribuir essa orientação final, atribui-se ao ponto de interesse uma descrição através de medidas obtidas ao redor do ponto, essa descrição permite verificar o nível de distorções existentes, causadas pela mudança da iluminação, nas tomadas da fotografia.

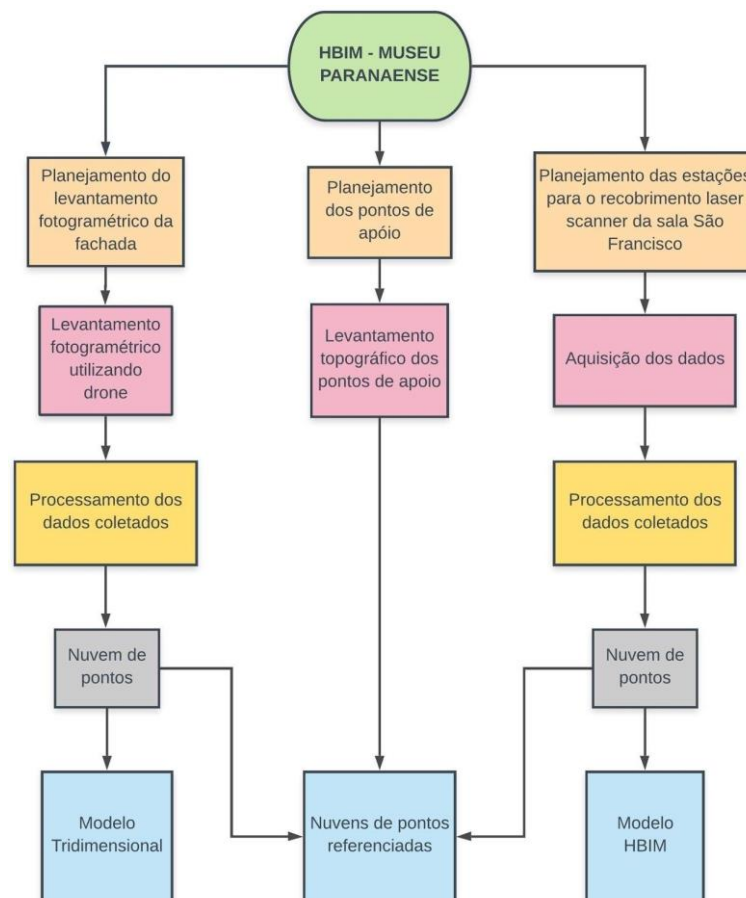
Essa técnica é utilizada pelos *softwares* de fotogrametria, que utilizam o *Structure from Motion* (SFM), como o Agisoft *Metashape*, onde significa realizar o registo da nuvem de pontos com coordenadas XYZ em um referencial arbitrário.

Quando é necessário realizar a transformação do referencial arbitrário para um referencial terrestre ou local, utilizando a transformação de similaridade, que conta com 7 parâmetros de transformação, sendo três parâmetros de translação, três parâmetros de rotação e um parâmetro de escala. A transformação produz uma nuvem adequada a aplicação de técnicas de mapeamento, pois é uma transformação linear e rígida.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado baseado em diferentes metodologias, processos e equipamentos. Para um melhor entendimento serão abordados os aspectos técnicos de cada material individualmente e posteriormente a metodologia aplicada em cada processo.

FIGURA 2 – FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO



FONTE: Os autores (2019).

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

O Museu Paranaense está situado no prédio Palácio São Francisco, localizado na rua Keller, 289, no bairro São Francisco da cidade de Curitiba. A edificação foi construída entre os anos de 1928 e 1929, com a arquitetura eclética e com influência do modernismo germânico.

Inicialmente, o Palácio São Francisco foi conhecido como Palacete Garmatter (FIGURA 3), pois sua serventia inicial foi como residência a família do comerciante Julio Garmatter.

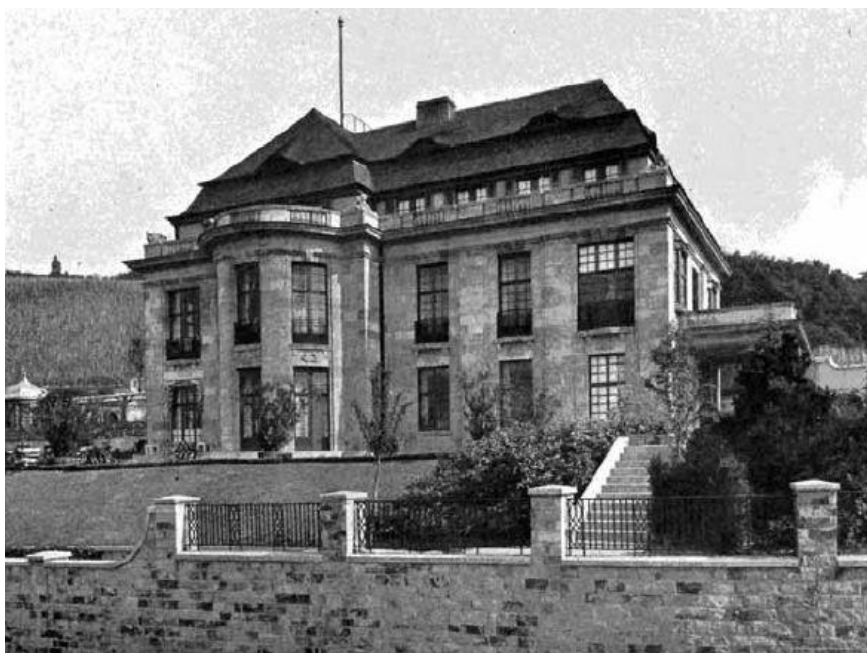
FIGURA 3 – PALACETE GARMATTER



FONTE: Antonio C. Carvalho (2018).

O projeto do Palacete Garmatter foi realizado pelo engenheiro e arquiteto Fernando Eduardo Chaves, baseando-se na planta da edificação alemã Rasch Haus, na cidade de Wiesbaden, obra do arquiteto Hermann Muthesius.

FIGURA 4 – RASCH HAUS



FONTE: Antonio C. Carvalho (2018).

A edificação atual do museu passou por diversas alterações físicas ao longo da história devido a mudança de serventia, saindo do uso residencial para sede do governo e, posteriormente, edifício do Tribunal Regional Eleitoral (TER). Quando se tornou o edifício do TRE, o palácio sofreu grandes alterações com as expansões e a criação de novas divisas para suportar sua nova funcionalidade.

Em 1987 a edificação foi tombada pelo poder público. Tal evento teve como objetivo a preservação do bem de valor histórico, cultural, arquitetônico e ambiental, passando por fim a abrigar o Museu de Arte do Paraná, a edificação passou por um processo de restauração para recuperar as antigas divisões e sua decoração original.

## 3.2 EQUIPAMENTOS E MATERIAIS

### 3.2.1 Vant DJI Mavic 2

O VANT utilizado foi da marca DJI, modelo Mavic 2 - Pro que possui uma Câmera HASSELBLAD L1D-20C sensor de 20MP de 1" (FIGURA 5), a operação do voo se dá através de um controle remoto, ligado a um tablet da marca Apple, modelo Ipad 6ª geração com capacidade de armazenamento 32GB.

FIGURA 5 – MAVIC 2-PRO



Fonte: DJI (2019).

### 3.2.2 Laser Scanner Terrestre BLK360

O LST utilizado para aquisição das nuvens de pontos, no ambiente interno do museu, foi o modelo BLK360 produzido pela empresa Leica Geosystems. O laser possui comprimento de onda de 830 nm e se enquadra na classificação tipo 1, de acordo com o documento 60825-1 da *International Electrotechnical Commission* (IEC), a qual não apresenta perigosidade ao usuário no tempo de exposição de operação do produto.

O LST possui alcance mínimo de 60 cm e máximo de 60 m, com taxa de aquisição de até 360 mil pontos por segundo. De acordo com o QUADRO 4, o BLK360 pode realizar varredura em três modos distintos, os quais influenciam na qualidade das observações e no tempo de duração da varredura.

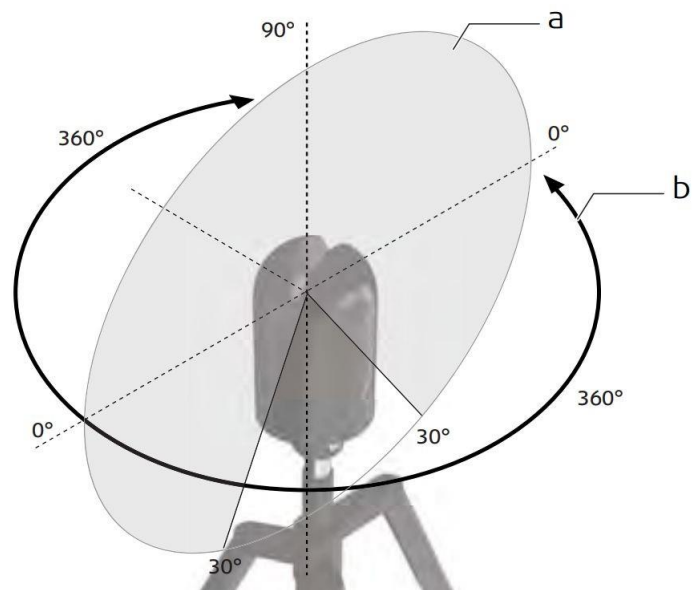
QUADRO 4 – CONFIGURAÇÕES DE ESCANEAMENTO DO BLK 360

Modo de escaneamento	Precisão (mm/10m)	Duração do escaneamento (min)
Rápido	20	0,67
Padrão	10	1,83
Alta densidade	5	3,67

FONTE: Adaptado de Leica Geosystems (2018).

O instrumento opera com três câmeras HDR com 150 megapixels, permitindo a aquisição de informação RGB para cada ponto, e uma câmera termográfica, a qual possibilita a geração de imagens termográficas panorâmicas no intervalo de -10 °C à 65 °C (LEICA GEOSYSTEMS, 2018). O BLK360 realiza um sistema de varredura panorâmica, com campo de varredura vertical de 300° (a) e horizontal de 360° (b), como apresentado na FIGURA 6.

FIGURA 6 – CAMPO DE VARREDURA PANORÂMICA DO BLK360



Fonte: Leica Geosystems (2018).

A realização de varreduras pode ser executada por comando manual ou remoto, através do *software* Recap Pro instalado em um tablet. A comunicação entre o aplicativo e o equipamento se dá via Wi-Fi a partir de uma antena WLAN 360° presente na base do instrumento.

### 3.2.3 Estação total TS15

A TS15 (FIGURA 7) é uma estação total robotizada de alta precisão total, também produzido pela Leica Geosystems, possui precisão nominal angular de  $\pm 1''$  e de  $\pm (2\text{mm} + 2\text{ppm})$  para medição de distâncias sem prismas refletores, com comprimento de onda de 658 nm (LEICA GEOSYSTEMS, 2015).

FIGURA 7 – ESTAÇÃO TOTAL ROBÓTICA TS15



Fonte: LEICA GEOSYSTEMS (2019)

#### 3.2.4 Computador do processamento do aerolevanteamento

O computador utilizado para o processamento dos dados oriundo do levantamento com VANT possui as seguintes especificações:

- Processador da marca Intel I7, modelo 4790K, de frequência de processamento 4.00 GHz;
- Memória da marca Kingston, modelo Hyper DDR3, com 4 módulos de 8GB, totalizando 32GB;
- Armazenamento da marca Kingston, modelo A400SSD, com 3 módulos de 240GB, totalizando 720GB;
- Placa de vídeo marca MSI, modelo GeForce GTX 680, memória de 2GB.

#### 3.2.5 Computador do processamento do levantamento laser terrestre

O computador utilizado para o processamento dos dados do laser scanner possui as seguintes especificações:

- Processador da marca Intel I7, modelo vPro 7700, de frequência de

processamento 3.60 GHz;

- Memória da marca Kingston, modelo Smart ddR3, com 1 módulo de 8GB;
- Armazenamento da marca WD Blue, modelo Wd5000azlx, com 1 módulos de 500;
- Placa de vídeo integrada marca Intel(R), modelo HD Graphics 630.

### 3.2.6 Softwares e aplicativos utilizados

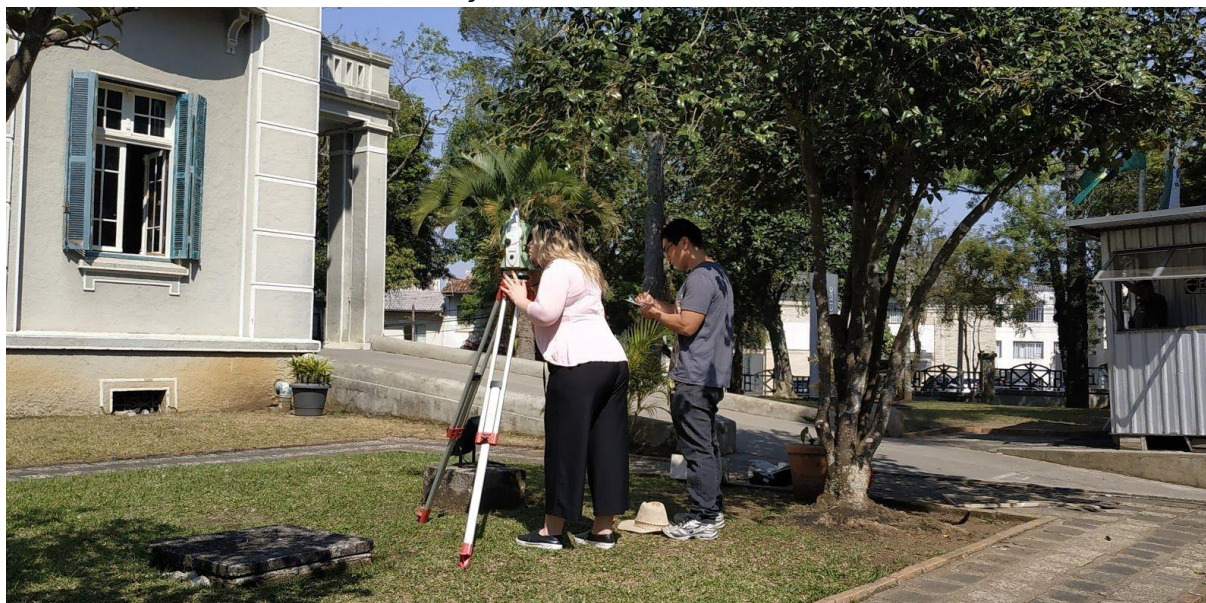
- DJI GO4
- ReCap Pro for mobile
- Agisoft Metashape
- CloudCompare
- BLk360 Data Manager Utility
- Cyclone REGISTER 360, versão 1.5.1
- ReCap PRO
- REVIT 2018

### 3.2.7 Elaboração da implantação do Sistema Topográfico Local

As nuvens de pontos obtidas pelas duas técnicas empregadas neste trabalho estão referenciadas a um referencial local próprio e independente. Para ser possível a união destas nuvens ou referenciamento das mesmas a um único sistema, optou-se pela criação de um referencial topográfico local, com orientação arbitrária. Desta forma, foi materializado um ponto no gramado externo do museu (FIGURA 8) e atribuído a este ponto as coordenadas indicadas na TABELA 1. A orientação foi feita de forma que o eixo Y ficasse aproximadamente ortogonal à fachada do Museu.



FIGURA 8 – LOCALIZAÇÃO DO PONTO MATERIALIZADO NO JARDIM



FONTE: Os autores (2019).

TABELA 1 – COORDENADAS LOCAIS EXTERNAS

Código	X (m)	Y (m)	Z (m)	Código	X (m)	Y (m)	Z (m)
F1	104,2222	108,8630	100,1180	F29	94,0748	107,9284	101,5628
F2	104,2218	108,8628	100,8323	F30	94,0758	107,9269	102,2685
F3	104,2213	108,8613	101,5587	F31	94,0763	107,9260	102,9780
F4	104,2222	108,8607	102,2612	F32	94,0796	107,9243	103,6839
F5	104,2226	108,8619	102,9795	F33	104,2212	108,8706	106,5173
F6	99,9983	108,8885	100,1205	F34	104,2212	108,8691	105,8103
F7	99,9966	108,8876	100,8361	F35	104,2213	108,8690	105,1176
F8	99,9967	108,8873	101,5531	F36	104,2219	108,8672	104,4092
F9	99,9963	108,8894	102,2573	F37	104,2203	108,8637	103,6875
F10	99,9979	108,8879	102,9849	F38	99,9954	108,8897	105,8139
F11	97,0136	108,9047	100,1240	F39	99,9956	108,8907	105,1061
F12	97,0145	108,9030	100,8383	F40	99,9981	108,8899	104,3999
F13	97,0131	108,9035	101,5560	F41	99,9986	108,8862	103,6892
F14	97,0129	108,9034	102,2586	ORI	100,0000	100,0000	100,0000
F15	97,0162	108,8998	102,9868	ORI	100,0000	100,0000	100,0000
F16	95,0781	108,9117	100,1305	P26	99,9301	95,2590	99,0285
F17	95,0808	108,9061	100,8460	P26	99,9376	95,2584	99,0286
F18	95,0800	108,9047	101,5556	P26	99,9197	95,2596	99,0285
F19	95,0776	108,9065	102,2604	P26	99,9349	95,2587	99,0280
F20	95,0754	108,9078	102,9870	P26	99,9349	95,2592	99,0275
F21	95,0771	108,9051	107,2778	P27	97,7948	95,2792	98,8845
F22	95,0679	108,9066	106,5216	P27	97,7944	95,2792	98,8845

F23	95,0709	108,9077	105,8151	P27	97,7952	95,2792	98,8845
F24	95,0733	108,9073	105,1148	P27	97,7928	95,2791	98,8844
F25	95,0772	108,9053	104,4069	P27	97,7927	95,2795	98,8850
F26	95,0753	108,9074	103,6862	P28	99,0311	95,2643	99,0333
F27	94,0682	107,9309	100,1311	P28	99,0310	95,2644	99,0334
F28	94,0746	107,9288	100,8434	P28	99,0313	95,2642	99,0332
				P28	99,0284	95,2648	99,0339
				P28	99,0284	95,2638	99,0338
				RE	100,0000	108,8886	100,1204

FONTE: Os autores (2019).

Outros três alvos de pontos de apoio, foram colocados no muro do Museu (FIGURA 9), de forma que fosse possível a pontaria a pelo menos dois destes alvos a partir do interior do Museu, na sala São Francisco.

FIGURA 9 – PONTOS DE APOIO NO MURO



FONTE: Os autores (2019).

Assim, foram determinadas as coordenadas dos alvos por irradiação tridimensional, bem como de diversos pontos na fachada do edifício, que depois foram utilizados para referenciar o levantamento da mesma. Os pontos da fachada não foram materializados, assim houve a necessidade de fazer a pontaria em elementos que pudessem ser bem definidos nas imagens obtidas com o VANT, como quinas dos elementos decorativos da fachada, conforme a FIGURA 10.

FIGURA 10 – LOCALIZAÇÃO DAS PONTARIAS NOS ELEMENTOS DECORATIVOS



FONTE: Os autores (2019).

Foi realizado um levantamento topográfico, para determinar a localização de pontos estratégicos na fachada externa, muro do lote e espalhados ao longo da parte interna a Sala São Francisco.

Os pontos estratégicos foram levantados, visando a união da nuvem de pontos. Sendo a sua localização estratégica, voltada a união dos mesmos. A TABELA 2 apresenta as precisões dos pontos de apoio utilizados para o referenciamento local.

TABELA 2 – DADOS DO LEVANTAMENTO

Leste	0,0383m
Norte	0,0078m
Altura	0,0003m

FONTE: Os autores (2019).

Na parte interna do Museu foram definidos 10 alvos a serem utilizados no levantamento com o Laser Scanner. Para a determinação das coordenadas de ponto, a estação total foi posicionada no interior da sala e utilizando-se o método de estação livre foi definida a orientação da estação total no mesmo referencial utilizado na parte externa do edifício. Para tanto foram realizadas pontaria nos alvos que foram definidos



no muro do Museu. Na FIGURA 11 é possível visualizar os pontos 27 e 28 de dentro da Sala São Francisco e na FIGURA 12 a estação total instalada no interior da sala e alguns dos pontos. Estes pontos foram confeccionados com tamanho de 14cm por 14cm, representada na FIGURA 13, para o uso interno, sendo impresso em papel adesivo de 180 g/m e colados em placas plásticas de OS com 2mm.

FIGURA 11 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS 27 E 28



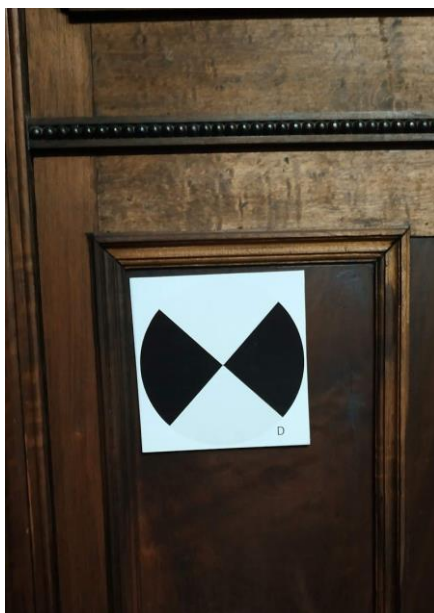
FONTE: Os autores (2019).

FIGURA 12 – ESTAÇÃO TOTAL INSTALADA NO INTERIOR DA SALA



FONTE: Os autores (2019).

FIGURA 13 – ALVO PARA OS PONTOS DE APOIO INTERNO



FONTE: Os autores (2019).

Uma das dificuldades de operação foi o fato do piso ser de assoalho de madeira e no início dos trabalhos observou-se que ao se movimentar ao redor da estação poderia causar vibrações no instrumento. Assim, durante as operações de campo apenas o operador da estação ficou próximo ao instrumento e limitou-se o seu movimento ao mínimo possível. Foram determinadas as coordenadas de 9 pontos, conforme TABELA 3.

TABELA 3 – COORDENADAS INTERNAS DOS PONTOS DE APOIO

Código	X (m)	Y (m)	Z (m)
A1	98,6954	118,4419	102,4741
B1	99,7741	113,8420	101,2544
C1	99,7874	111,2847	101,2601
D1	93,0538	111,3849	101,0748
E1	94,1060	114,9515	101,0453
F1	94,9451	109,9332	101,2359
G1	94,9099	118,4601	102,1491
H1	97,3412	118,4441	102,1155
J1	100,1726	115,5769	101,1580
M1	95,5841	112,1551	101,0738

FONTE: Os autores (2019).



### 3.2.8 Aquisição de dados espaciais da fachada do museu

O levantamento da área externa do museu foi realizado por meio da aquisição de imagens aéreas a partir do VANT MAVIC 2 PRO, sendo iniciada pela etapa de reconhecimento da área e do planejamento de voo. Entretanto, na avaliação inicial do local foram observados obstáculos próximos à superfície de interesse, como árvores e pergolado, os quais poderiam inviabilizar a execução de um voo automático.

Sendo assim, visando a segurança do operador, dos auxiliares e a não danificação do equipamento, optou-se pela realização do voo manual, o qual possibilitou a diminuição da distância entre o VANT e a superfície levantada, com ausência de regiões obstruídas nas imagens. A FIGURA 14 ilustra o processo de aquisição em campo.

FIGURA 14 – AQUISIÇÃO DE DADOS ESPACIAIS DA FACHADA DO MUSEU

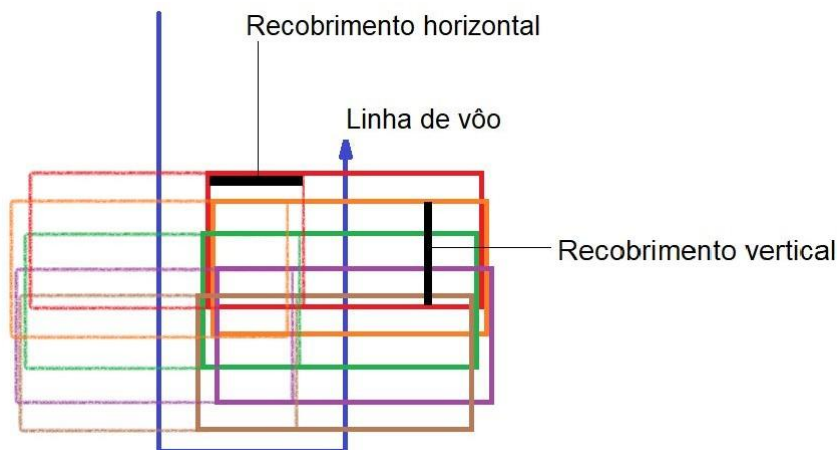


FONTE: Os autores (2019).

Ao realizar a tomada das fotografias tomou-se o cuidado para obter imagens

com diferentes angulações de uma mesma região. Pois a angulação da câmera em direção a fachada, pode garantir ou não a tomada dos detalhes da edificação. Além desse cuidado, foi necessário garantir a sobreposição vertical e lateral das faixas e fotografia para garantir o *bundle adjustment*, representado na FIGURA 15.

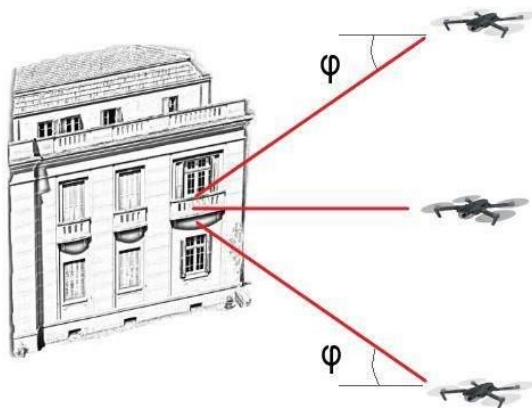
FIGURA 15 – RECOBRIMENTO DE FOTOS



FONTE: Os autores (2019).

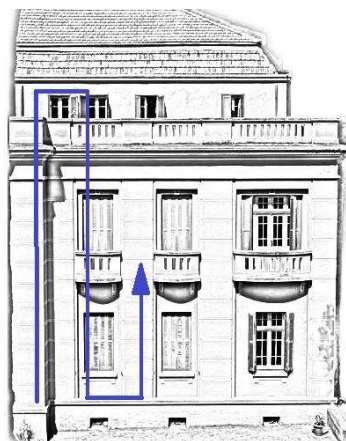
O *software* livre DJI GO4 foi utilizado para o planejamento dos voos. Para o recobrimento total da área desejada, realizou-se 3 voos manuais com diferentes ângulos de inclinação da câmera:  $0^{\circ}$ ,  $+40^{\circ}$  e  $-40^{\circ}$ , conforme apresentado na FIGURA 16. A distância horizontal de aproximadamente 5 m até a fachada, uma vez que a distância sofrer interferências internas e externas, como variação causada pelo controlador do voo e rajadas de vento, a sobreposição vertical entre as fotografias de voo foi de 80% e horizontal de 40%, possibilitando uma melhor detecção de pontos homólogos entres as fotografias sobrepostas posteriormente, a FIGURA 17 demonstra como a linha de voo seguiu, totalizando no fim 423 fotos, na FIGURA 18 é possível verificar a disponibilidade das fotos.

FIGURA 16 – ANGULAÇÃO DA CÂMERA



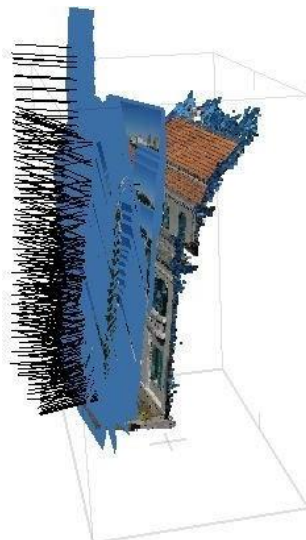
FONTE: Os autores (2019).

FIGURA 17 – CAMINHO PERCORRIDO PELO VOO



FONTE: Os autores (2019).

FIGURA 18 – DISPOSIÇÃO DAS FOTOS





FONTE: Os autores (2019).

### 3.3 MÉTODOS

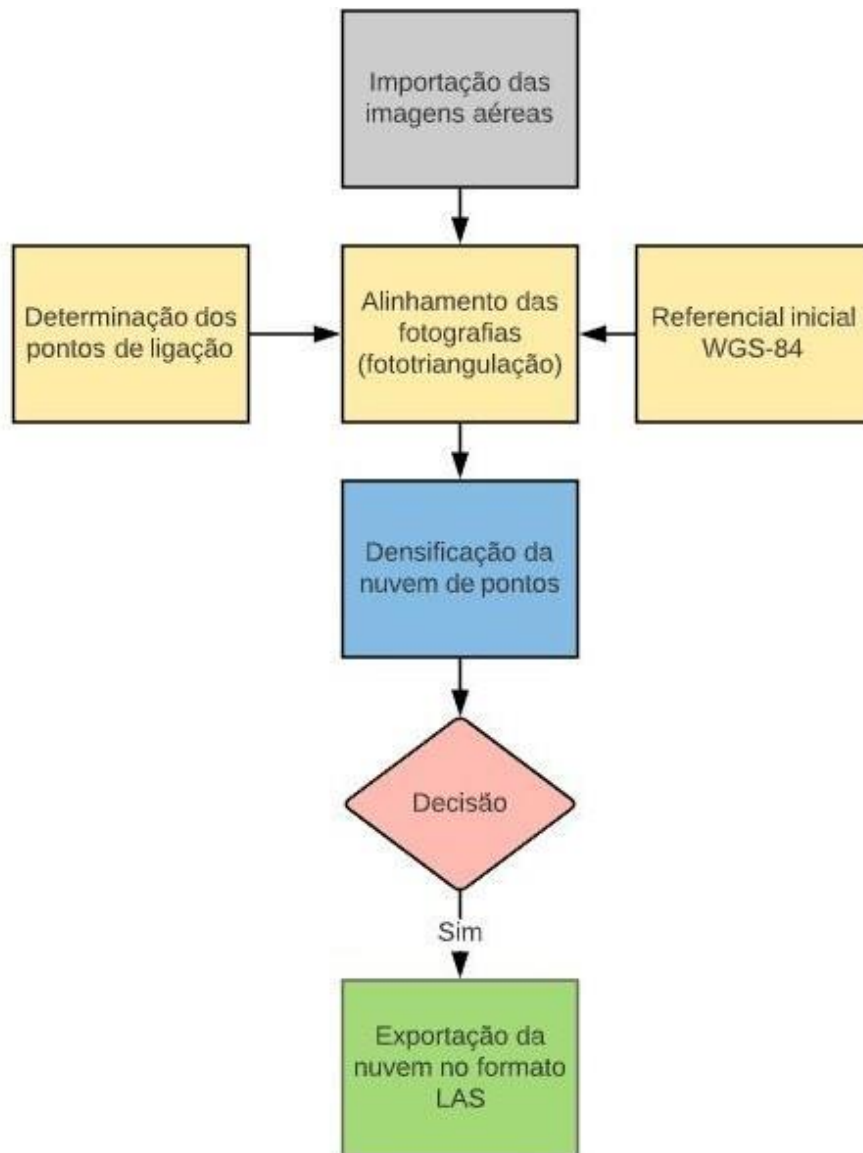
#### 3.3.1 Processamento do voo

O processamento do levantamento fotogramétrico por VANT foi realizado no *software* comercial Agisoft Metashape, um *software* fechado, versão de teste com validade de 30 dias. A FIGURA 19 apresenta as etapas desenvolvidas no processamento, iniciando com a importação das imagens aéreas, a segunda etapa realizada no Agisoft, foi a de alinhamento das fotografias tomadas, o alinhamento das fotografias é também chamado de fototriangulação, onde se determinam coordenadas do terreno em relação a um referencial no terreno. O referencial utilizado inicialmente foi o WGS-84, esse referencial é dado no processo de calibração da câmera do vant, que utiliza como base o GPS de navegação embarcado no equipamento, sendo o GPS+GLONASS a especificação dada pelo fabricante.

Ainda nesse segundo processo foi estipulado os pontos de ligação entre as fotografias, o que permitirá a densificação futura da modelagem 3D. O resultado da fototriangulação gera os TIE points ou pontos fotogramétricos, que tem como função a materialização do sistema de coordenadas no terreno.

O Terceiro processo foi a densificação da nuvem de pontos em si. Tendo a densificação inicial gerada no segundo processo, chamada de nuvem de pontos fotogramétricos, nessa etapa ocorre o aumento da quantidade de pontos da nuvem, diminuindo assim os espaços vazios, melhorando a visualização da fachada, finalizando essa etapa com a nuvem de pontos densificada.

FIGURA 19 – ETAPAS DO PROCESSAMENTO DAS IMAGENS AÉREAS



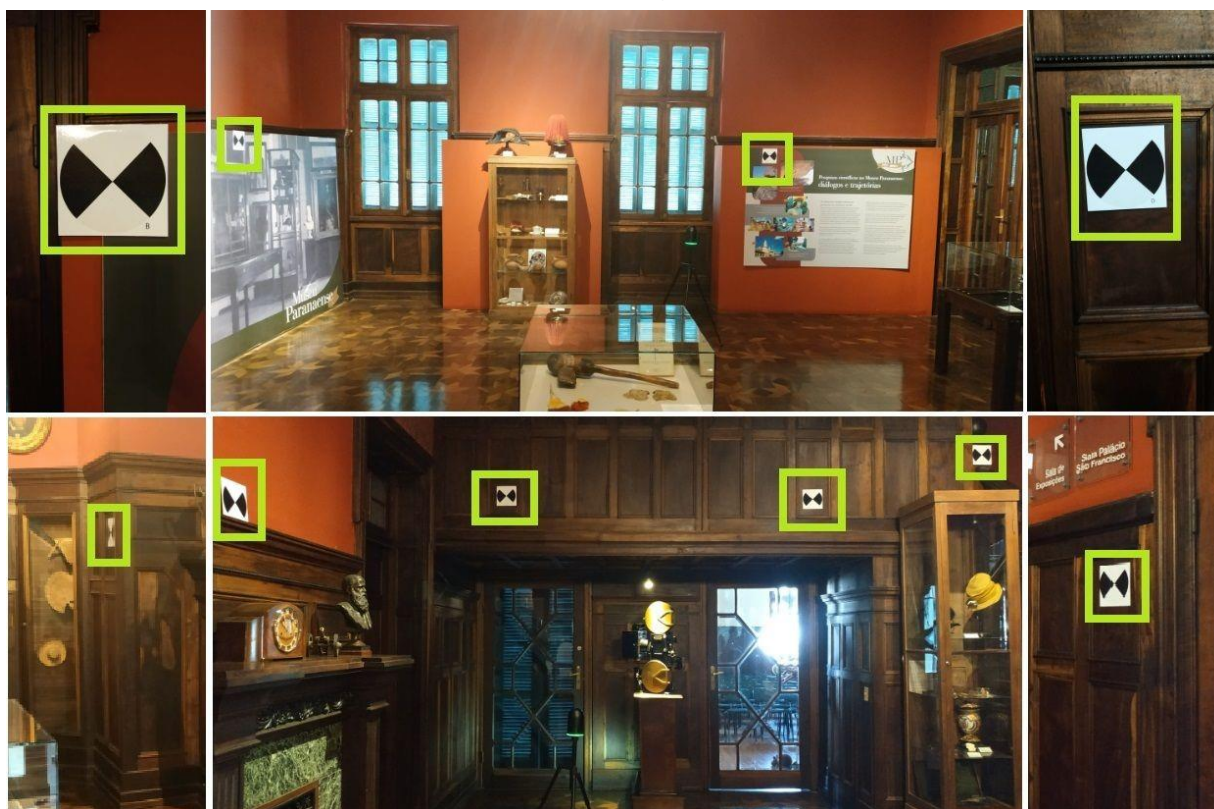
Fonte: Os autores (2019).

### 3.3.2 Aquisição da varredura laser interna do Museu

A partir da avaliação prévia da sala principal do museu, foi realizado o planejamento da localização das estações do LST e dos alvos, sendo estes utilizados posteriormente no registro das nuvens de pontos adquiridas. A distribuição dos alvos constitui uma etapa importante do planejamento, uma vez que para cada par de

varredura é recomendado o número mínimo de 4 alvos na região de sobreposição. Sendo assim, conforme a FIGURA 20, os 10 alvos foram dispostos na sala levantada de modo que para cada par de nuvens fosse possível a varredura de no mínimo cinco alvos, garantindo o número mínimo necessário de pontos.

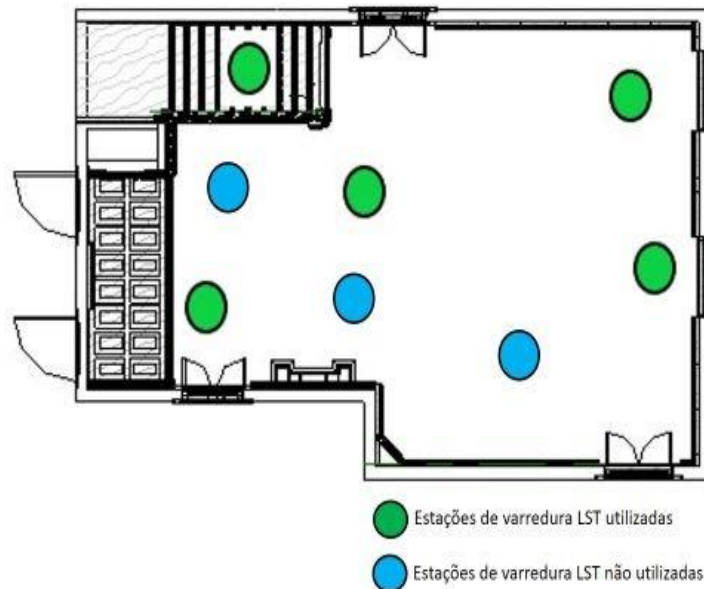
FIGURA 20 – DISTRIBUIÇÃO DOS ALVO



Fonte: Os autores (2019).

Foram realizados oito levantamentos na parte interna do museu, visando um bom recobrimento do ambiente. Entretanto, não foi possível a realização do processamento com todas as nuvens adquiridas, pois o volume de dados ultrapassou a capacidade de processamento do computador utilizado. Sendo assim, a FIGURA 21 apresenta as cinco estações de varredura laser escolhidas e as três não utilizadas, com as cinco nuvens de pontos selecionadas com as quais foi possível o recobrimento total das superfícies de interesse na sala do museu para a etapa posterior de elaboração do HBIM.

FIGURA 21 – CROQUI DE LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE VARREDURA LASER



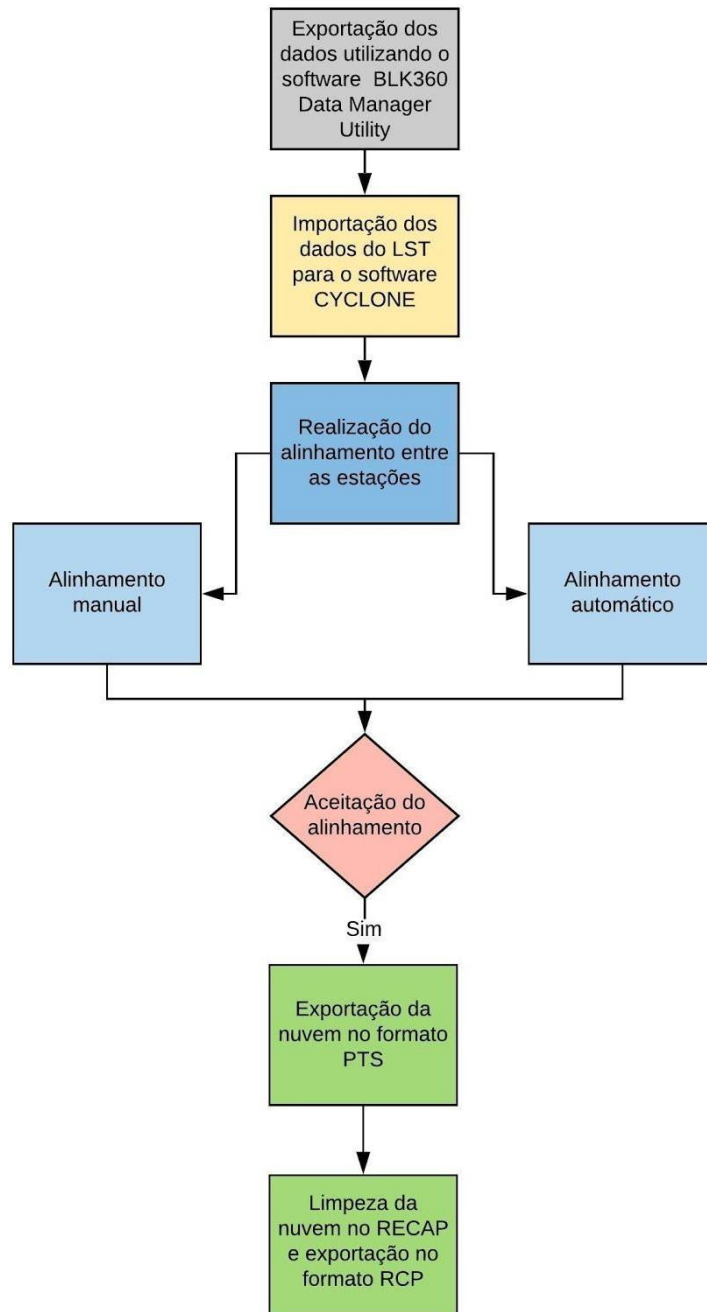
FONTE: Os autores (2019).

Destaca-se que durante o processo de varredura, a sala não foi esvaziada, contendo desta forma todos os elementos que estavam em exposição durante o período de coleta de dados. Foi tomado o cuidado de isolar a sala durante as varreduras de forma que nenhuma pessoa estivesse no recinto durante o levantamento, o que poderia gerar obstruções nas cenas levantadas.

Como o LST é um método ativo que não depende da iluminação do ambiente, não ocorreu problemas devido à baixa iluminação da sala, por outro lado parte do chão não obteve o retorno do sinal isso ocorreu nas regiões onde havia mais irradiação solar, provavelmente devido o piso ser de madeira encerado provocando o efeito de reflexão dos raios provenientes do LST, fazendo com que o sinal não tivesse retorno.

### 3.3.3 Processamento da nuvem de pontos

FIGURA 22 – FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DE PROCESSAMENTO DOS DADOS LASER SCANNER



FONTE: Os autores

Conforme o fluxograma (FIGURA 22) mostrando as etapas do processamento dos dados obtidos com o equipamento de laser scanner, explicaremos os procedimentos para a obtenção da nuvem de pontos que será utilizado na modelagem HBIM e na união com a nuvem de pontos provinda do processamento dos dados do

fotogramétricos.

Primeiramente utilizando o *software* BLK360 *Data Manager Utility*, versão 1.6.0 foi exportado os dados dos levantamentos no formato BLK, formato exclusivo para a utilização no *software* *Cyclone REGISTER 360*.

Em seguida os dados foram importados no *software* *Cyclone REGISTER 360*, versão 1.5.1 que utiliza o registro automático para o alinhamento das nuvens de pontos, através da *Auto Cloud* onde é realizado o alinhamento preliminar *cloud-to-cloud* e o registro das estações baseados na geometria compartilhada entre os escaneamentos. Para isso foi alinhado 3 estações automaticamente, e introduzidas mais 2 estações e o alinhamento de forma manual, devido a uma limitação do hardware de processar as 5 estações de uma só vez.

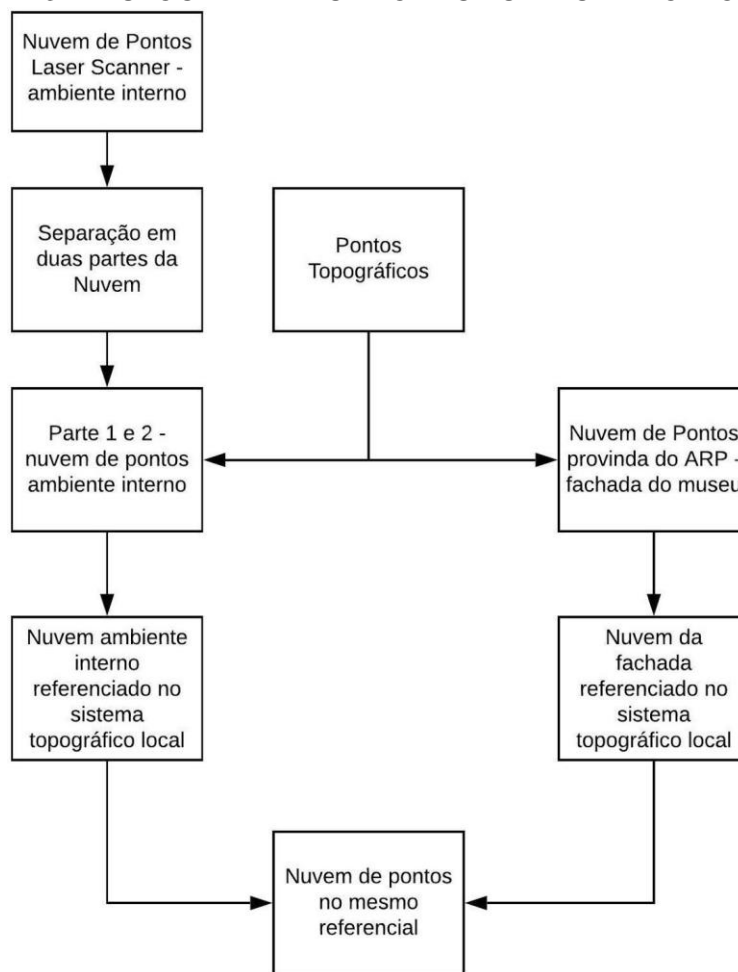
Como o *software* *Cyclone REGISTER 360* mostra as condições do ajustamento entre as nuvens de pontos (sobreposição, precisão do ajustamento, precisão entre as nuvens e precisão dos alvos), foi analisado e validado o processamento em subsequência da geração do ajustamento. Após a aceitação do processamento realizou-se a exportação da nuvem de pontos processada na extensão PTS.

No *software* RECAP PRO, a nuvem de pontos passou pelo processo de eliminação de pontos fora da área de estudo, em seguida a sua exportação no formato RCP arquivo utilizado no *software* REVIT para a sua visualização.

#### 3.3.4 União das nuvens de pontos

O fluxograma (FIGURA 23), mostra as etapas realizadas para a união entre as duas nuvens de pontos, provinda do laser scanner e do levantamento utilizando o ARP foi necessário a utilização de pontos topográficos levantados em campo com o intuito de referenciar essas nuvens de pontos. No processo de referenciamento as nuvens de pontos sofreram uma transformação de corpo rígido.

FIGURA 23 – FLUXOGRAMA DA UNIÃO DAS NUVENS DE PONTOS



FONTE: Os autores

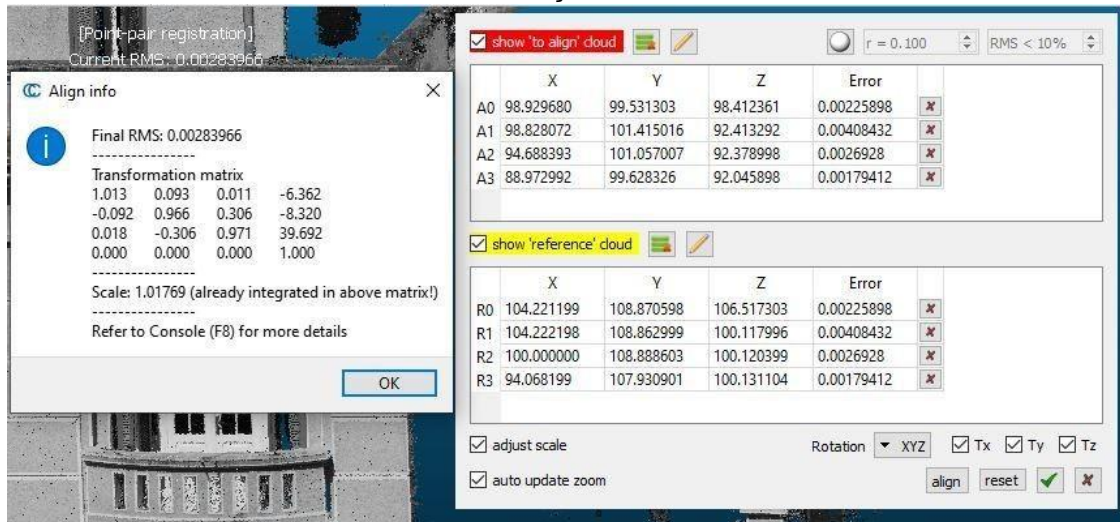
Primeiramente foi necessário, a divisão da nuvem de pontos da parte interna do museu em duas. Essa divisão se fez necessária devido uma limitação do software, de uma aproximação ao interior da nuvem de pontos, dificultando o usuário a realizar a seleção do ponto interno para o referenciamento. Para esse processo foi utilizado a ferramenta *Cross Section*.

Foi então realizado o referenciamento das suas partes separadamente ao sistema local, e depois a união das duas partes se deram naturalmente, pois pertenciam ao mesmo sistema. O referenciamento foi realizado pegando os pontos topográficos e seus correspondentes na nuvem de pontos.

Para o referenciamento da fachada foi feita uma pré orientação utilizando quatro pontos (FIGURA 24), mostrando o resultado da transformação de corpo rígido, que foi utilizada pelo *software* para realizar o alinhamento entre os pontos topográficos e a nuvem de pontos da fachada, essa transformação realizou rotações, translações

e uma correção da escala entre os referencias. Foi feito essa etapa com a finalidade de facilitar a aferição dos pontos topográficos ímpares que foram utilizados para o alinhamento final da nuvem da fachada.

FIGURA 24 – PRÉ ORIENTAÇÃO DA NUVEM DA FACHADA



FONTE: Os autores (2019).

Foi necessária uma matriz de transformação, para determinação das coordenadas locais dos pontos de apoio da fachada, apresentada na TABELA 4. Os valores necessários para a aplicação da transformação, estão presentes na FIGURA 25, sendo o fator de escala do alinhamento final da fachada, no total foram utilizados vinte e um pontos, na qual estão numeradas de R0 a R20.

TABELA 4 – IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS

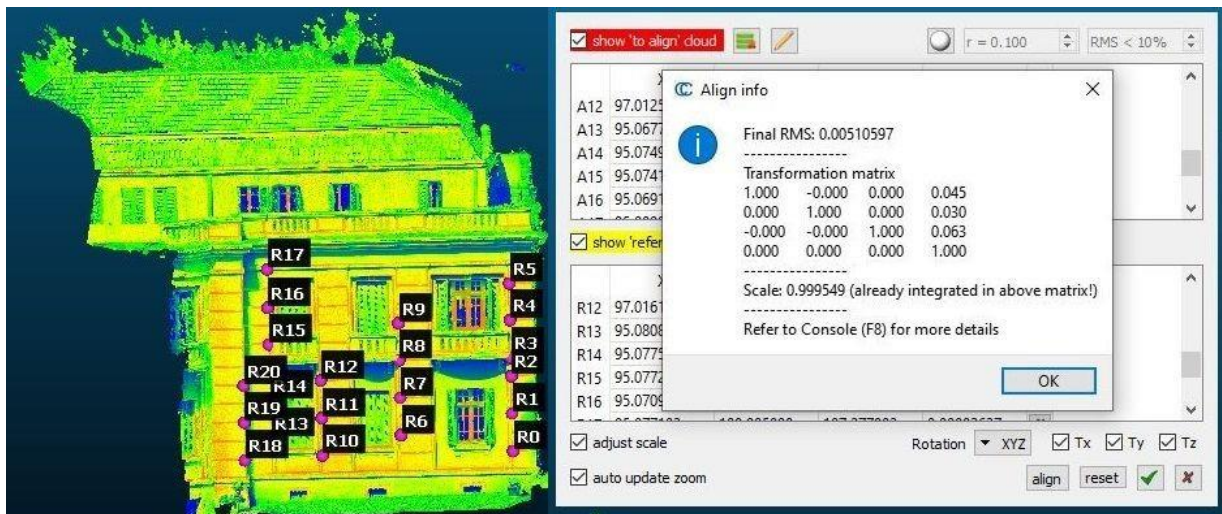
Ponto	X(m)	Y(m)	Z(m)
R0 = F1	104,2222	108,863	100,118
R1 = F3	104,2213	108,8613	101,5587
R2 = F5	104,2226	108,8619	102,9795
R3 = F37	104,2203	108,8637	103,6875
R4 = F35	104,2213	108,8690	105,1176
R5 = F33	104,2212	108,8706	106,5173
R6 = F7	99,9966	108,8876	100,8361
R7 = F9	99,9963	108,8894	102,2573
R8 = F41	99,9986	108,8862	103,6892



R9 = F39	99,9956	108,8907	105,1061
R10 = F11	97,0136	108,9047	100,1240
R11 = F13	97,0131	108,9035	101,5560
R12 = F15	97,0162	108,8998	102,9868
R13 = F17	95,0808	108,9061	100,8460
R14 = F19	95,0776	108,9065	102,2604
R15 = F25	95,0772	108,9053	104,4069
R16 = F23	95,0709	108,9077	105,8151
R17 = F21	95,0771	108,9051	107,2778
R18 = F27	94,0682	107,9309	100,1311
R19 = F29	94,0748	107,9284	101,5628
R20 = F31	94,0763	107,9260	102,9780

FONTE: Os autores

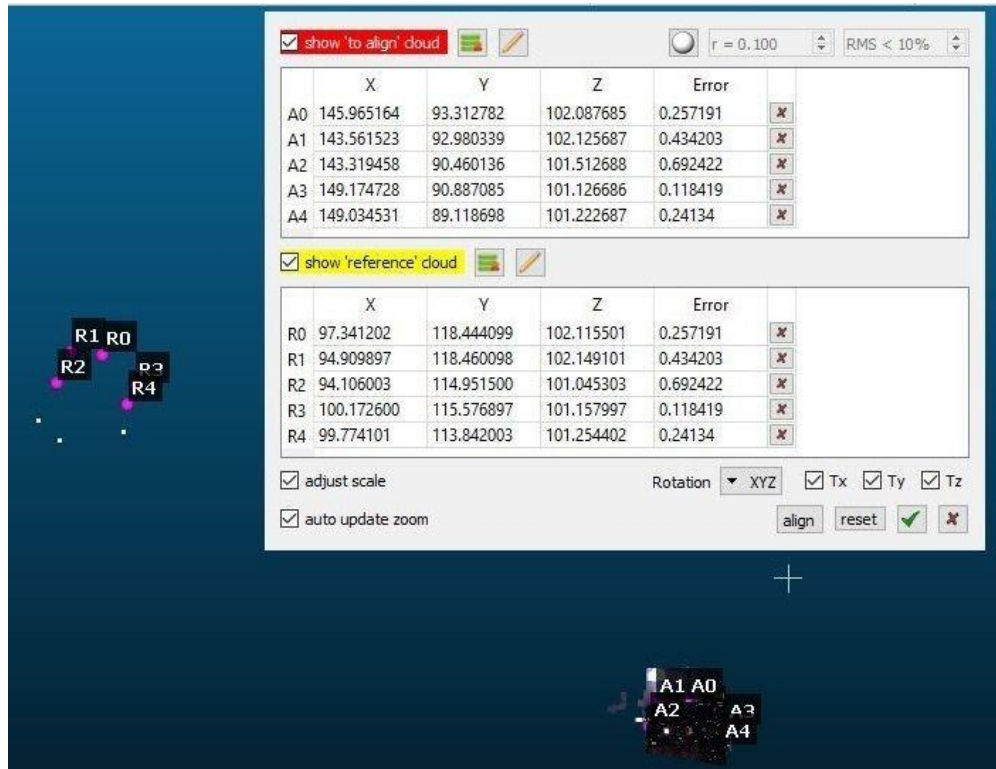
FIGURA 25 – REFERENCIAMENTO DA FACHADA



FONTE: Os autores (2019).

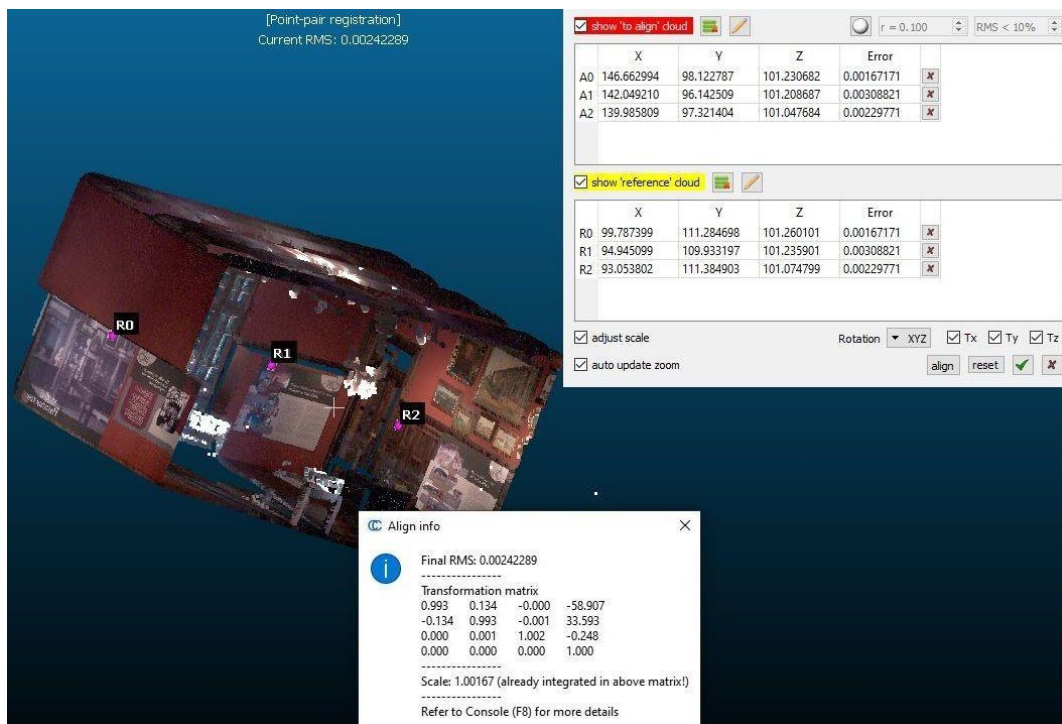
Os pontos correspondentes para a realização do alinhamento a primeira parte da nuvem de pontos laser e os pontos topográficos, podem ser vistos na FIGURA 26, fica evidente que a transformação de referencial utiliza de translações para a realização do alinhamento, posteriormente na FIGURA 27 observa-se o resultado do alinhamento da segunda parcela da nuvem de pontos do ambiente interno com a primeira já alinhada no sistema local.

FIGURA 26 – REFERENCIAMENTO DA PRIMEIRA PARCELA DA SALA



FONTE: Os autores (2019).

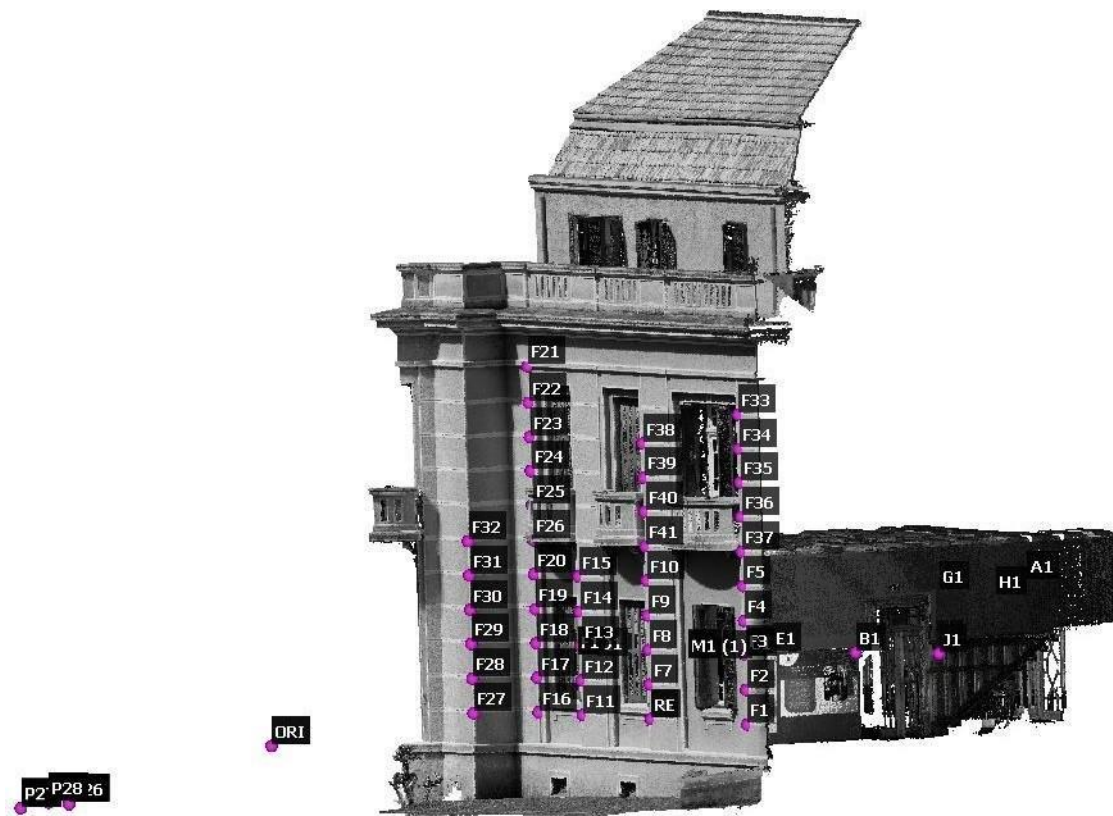
FIGURA 27 – REFERENCIAMENTO DA SEGUNDA PARCELA DO MUSEU



FONTE: Os autores (2019).

Com as duas partes da nuvem interna já unidas aos pontos topográficos local, foi realizada a união da fachada externa da sala, que pode ser verificada na FIGURA 28, de uma perspectiva onde é possível observar a nuvem da fachada externa, os pontos topográficos e a nuvem interna da sala São Francisco, na FIGURA 29 são os mesmos elementos, mas na vista lateral.

FIGURA 28 – AS NUUVENS DOS DOIS PROCESSAMENTOS UNIDAS.



FONTE: Os autores (2019).

FIGURA 29 – AS NUVENS DOS DOIS PROCESSAMENTOS VISTA EM PERFIL LATERAL



FONTE: Os autores

### 3.3.5 Geração do Modelo HBIM

A modelagem com para o HBIM foi realizada apenas da parte interna do Museu, utilizando a nuvem de pontos do laser scanner para a modelagem, devido a extração métrica através da nuvem de pontos.

Como a sala estava sendo usado para uma exposição, os objetos que estavam no interior do ambiente provocaram oclusões, como totens ou quadros que estavam na frente das paredes. Analisando a nuvem de pontos notou-se que existia uma padronização das dimensões dos moldes que de madeira nas paredes, com isso foi adotado a utilização desses moldes para o recobrimento das paredes que estavam oclusas, porem na parede abaixo do teto da escada há uma variação nas dimensões desses moldes essa constatação foi possível através da extração métrica na nuvem de pontos. Nas áreas de oclusão a possibilidade de introdução de erros na tentativa da modelagem pode ser elevada, ocasionando grande discrepância na representação da realidade entre o modelo e objeto real. Com o intuito de diminuir os erros nas modelagens foi realizado uma nova visita ao local do ambiente de estudo, a sala do museu estava passando por um processo de restauração, os objetos que provocavam oclusões foram retirados do local, com isso foi possível a verificação em loco dos

moldes de madeira das paredes que antes estavam oclusas, essa verificação foi apenas visual e com o registro de imagens, não foram realizadas novas varreduras laser ou a extração direta das medidas desses detalhes. Fazendo com que a mudança realizada no modelo 3d fosse baseado nas imagens obtidas nessa visita com o ambiente de estudo vazio sem os objetos que provocavam oclusões na varredura laser.

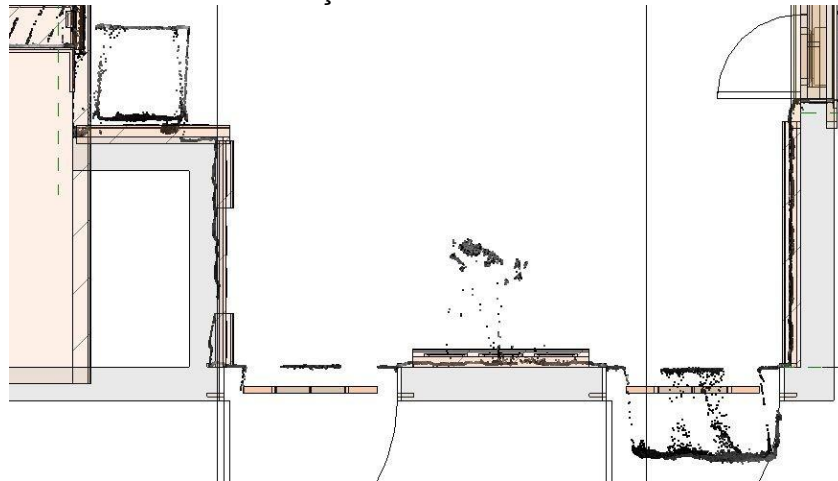
Para a realização do modelo através da nuvem de pontos foram testados métodos de modelagem:

1. Método indireto: Modelagem utilizando as informações métricas da nuvem para a criação dos elementos de famílias, utilizou o software ReCap Pro para a extração das medidas dos elementos. Esse método é lento devido a necessidade da extração das medidas em um outro software, cuidados na passagem das medidas para o desenho.
2. Método direto: Modelagem sobre a nuvem de pontos, através da ferramenta (Modelar no local). Necessidade da criação e manejo de vistas de cortes para facilitar a modelagem dos elementos. Método mais rápido que o indireto, porém a necessidade de trabalhar com várias vistas de corte, e o apoio de imagens para auxiliar na modelagem dos elementos.

A primeira modelagem foi dos elementos construtivos da sala São Francisco, como a parede, forro e piso que utilizam a delimitação do perímetro da edificação. Na FIGURA 30 é possível ver os pontos da nuvem em planta e o início do processo de definição das geometrias dos elementos construtivos. Este processo foi realizado de forma manual, fazendo-se a digitalização dos elementos a partir dos dados na nuvem de pontos.



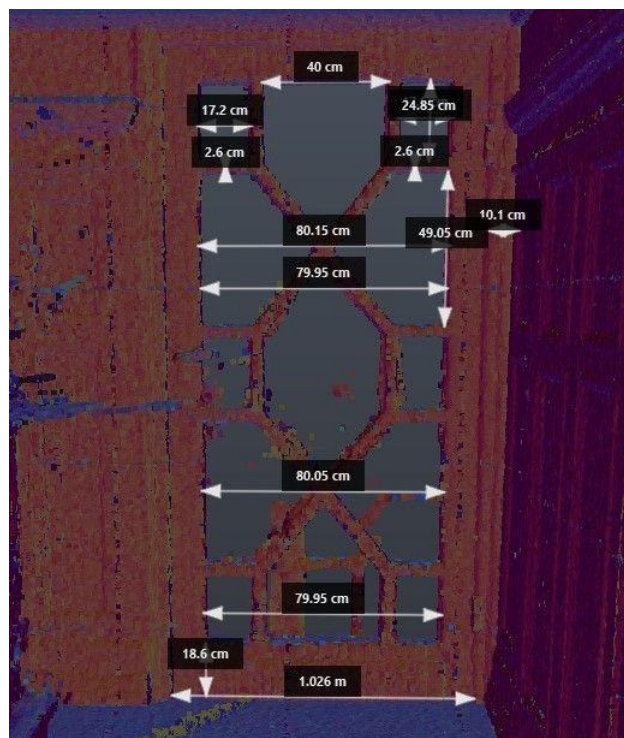
FIGURA 30 – DELIMITAÇÃO DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS



FONTE: Os autores (2019).

A segunda modelagem foi a chamada de Famílias. As Famílias são grupo de objetos semelhantes entre si, como portas e janelas, para essa modelagem foi utilizando dois métodos, a extração de informações métricas ocorreu no *software* RECAP PRO, pode ser vista na FIGURA 31, e a criação dos objetos no *software* REVIT, na FIGURA 32 é possível visualizar que como foi feita a modelagem de componentes na própria planta, realizando o desenho em cima da nuvem de pontos.

FIGURA 31 – EXTRAÇÃO DE MEDIDAS DA PORTA



FONTE: Os autores (2019).

Por fim a modelagem dos detalhes arquitetônicos, nessa etapa de modelagem foi realizada a extração de medidas pelo RECAP (FIGURA 32), realizando a modelagem sobre a nuvem de pontos, porém foi necessário o auxílio de fotografias, tomadas unicamente do objeto com o auxílio de um celular, para a realização dos modelos, pois o nível de detalhamento era alto e apenas com a nuvem de pontos não seria possível realizar a modelagem com tamanho zero a arquitetura. Para a modelagem no REVIT, foram utilizadas as ferramentas de modelagem de extrusão, varredura e revolver do *software*.

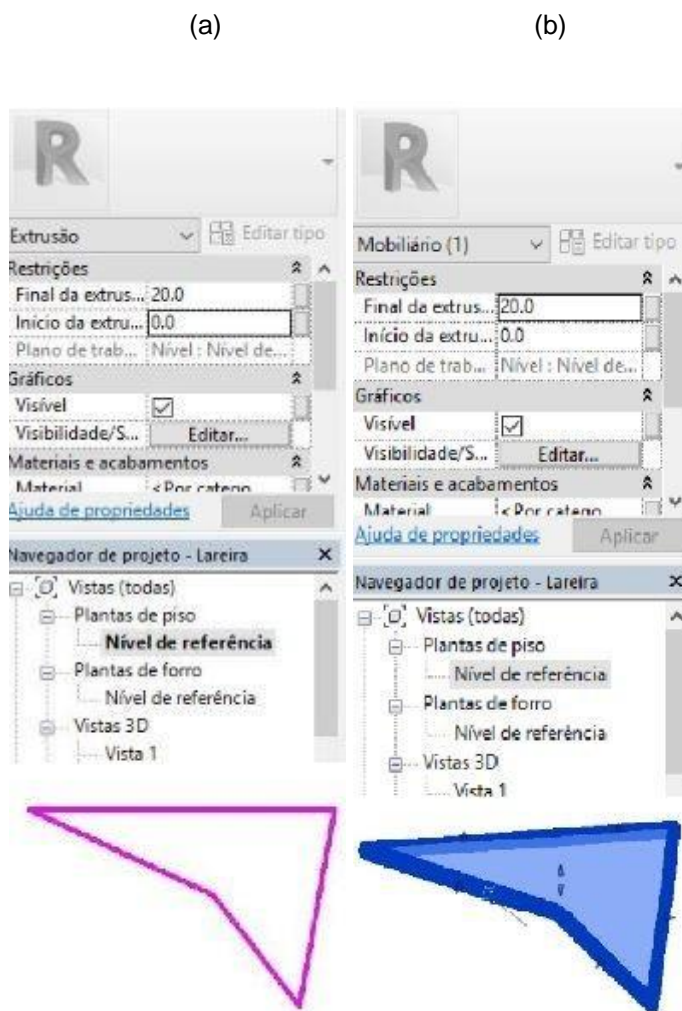
FIGURA 32 – MODELAGEM EM CIMA DA NUVEM DE PONTOS



FONTE: Os autores (2019).

Na modelagem por extrusão (FIGURA33) o usuário define a forma do elemento e início e fim da extrusão. Com o modelo criado pela extrusão pode - se alterar as dimensões mudando o início e o final da extrusão ou movimentar as setas que aparecem no objeto.

FIGURA 33 – EXTRUSÃO: (a) MODELAGEM POR EXTRUSÃO EXEMPLO; (b) MODIFICAÇÃO DA DIMENSÃO DO MODELO POR EXTRUSÃO.

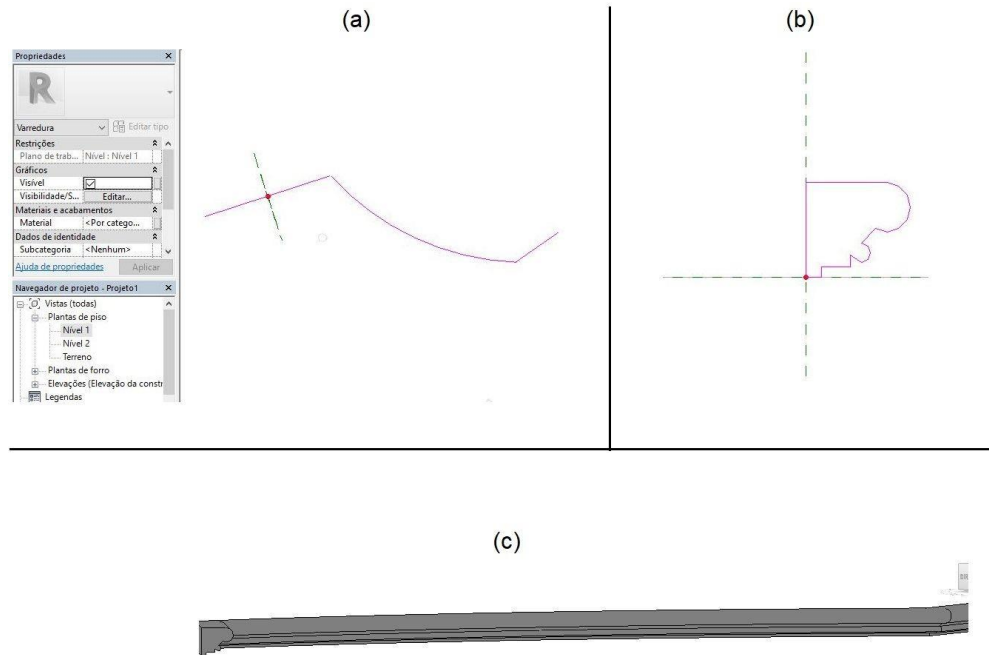


FONTE: Os autores (2019).

A Modelagem por varredura, apresentada na FIGURA 34, demonstra como foi criado o percurso que o perfil irá percorrer para gerar a modelagem, das placas de madeira distribuídas ao longo da sala.



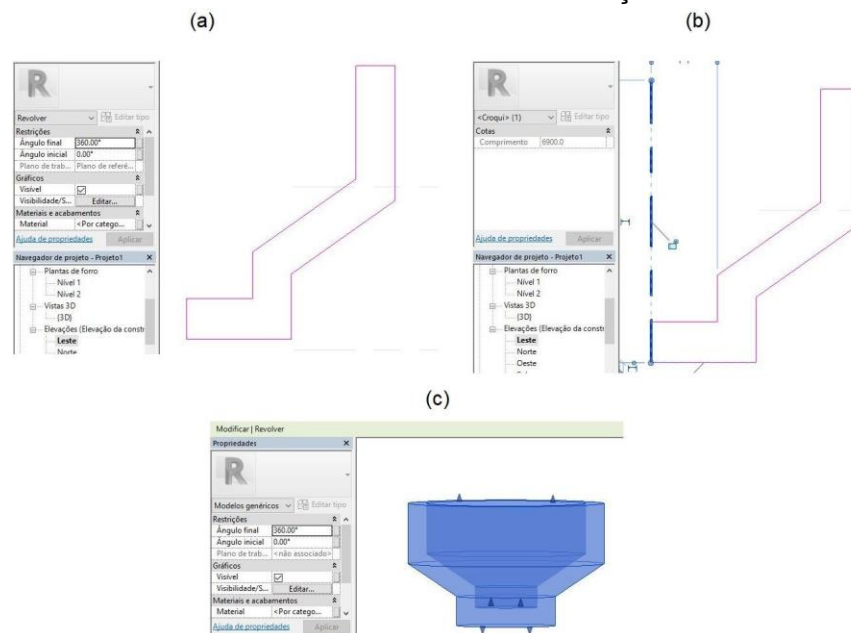
FIGURA 34 – MODELAGEM DE VARREDURA: (a) PERCURSO; (b) PERFIL; (c) MODELO GERADO.



FONTE: Os autores (2019)

A Modelagem utilizando a ferramenta de revolução (FIGURA 35), primeiramente cria o perfil para a revolução, em seguida indica-se o eixo para a rotação do perfil, criando um modelo de sólido por revolução, utilizado para modelar a base de sustentação da esfera decorativa no início do corrimão da escada.

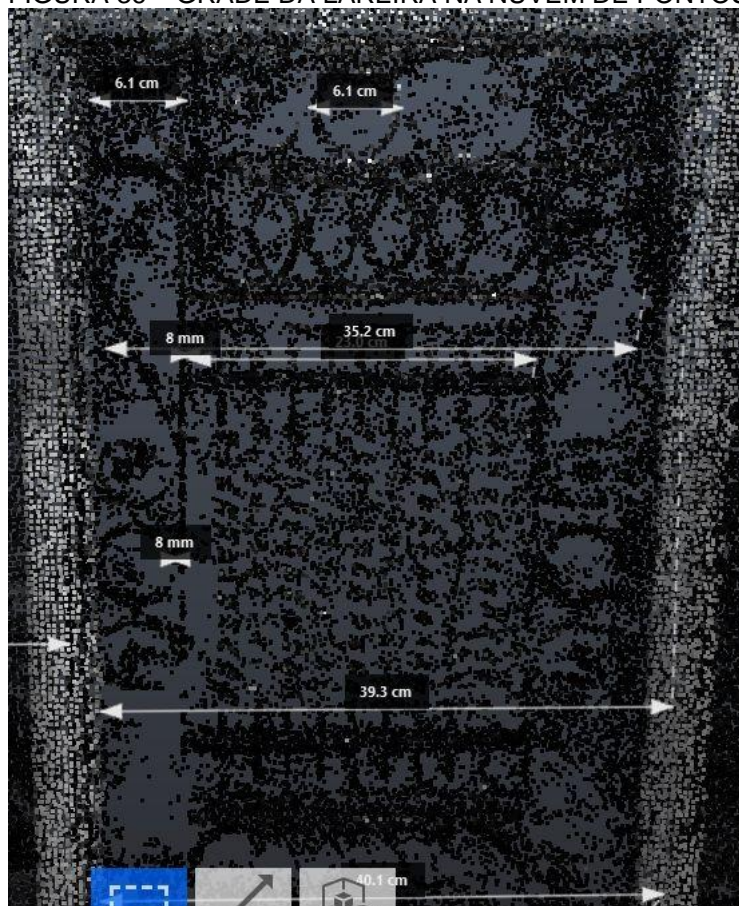
FIGURA 35 – EVOLUÇÃO: (a) PERFIL PARA A REVOLUÇÃO; (b) EIXO DE ROTAÇÃO; (c) SÓLIDO CRIADO PELA MODELAGEM POR REVOLUÇÃO



FONTE: Os autores

Para a Modelagem de detalhes arquitetônicos, foi utilizado a metodologia de extração de medidas pelo RECAP, realizando a modelagem sobre a nuvem de pontos e com o auxílio de imagens para a realização dos modelos. Na FIGURA 36, é possível visualizar a nuvem de pontos da região da grade da lareira, onde foi possível a extração das medidas e na FIGURA 37 a foto utilizada para auxiliar na visualização do desenho arquitetônico e a modelagem final apresentada.

FIGURA 36 – GRADE DA LAREIRA NA NUVEM DE PONTOS

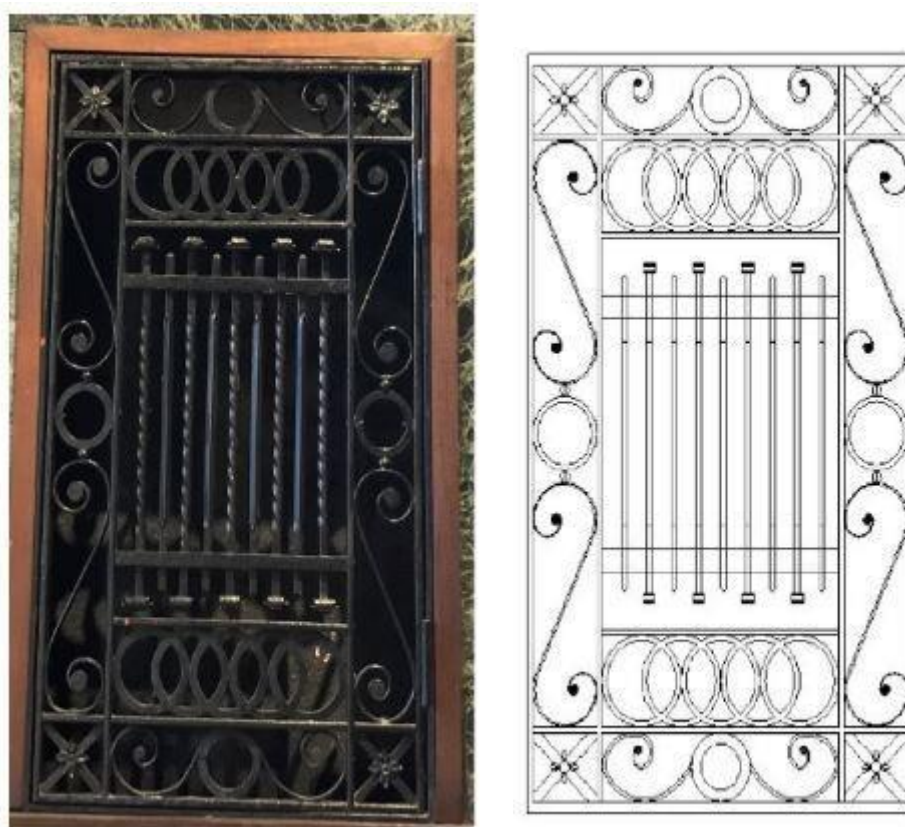


FONTE: Os autores (2019).

FIGURA 37 – GRADE DA LAREIRA: (a) FOTO DA GRADE; (b) MODELO DA GRADE

(a)

(b)



FONTE: Os autores (2019).

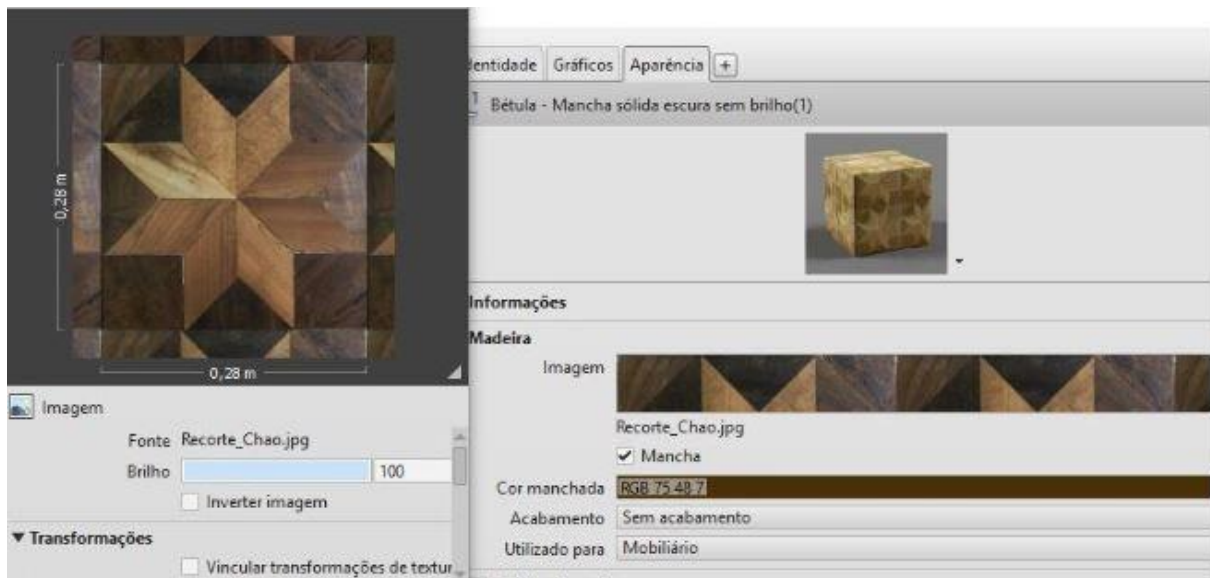
Para a inserção de alguns detalhes foi utilizado a ferramenta decalque (FIGURA 38), inserindo imagens nas superfícies desejadas (ex: Molde Esculpido da Lareira, Detalhes na Escada). Já para o piso foi criado o material (FIGURA 39), utilizando a fotografia do mesmo enquadrando o mosaico de um quadrilátero com o desenho de uma estrela inscrita no quadrilátero.

FIGURA 38 – DECALQUE: (a) DETALHE DA LAREIRA; (b) DETALHES DA ESCADA  
(a) (b)



FONTE: Os autores (2019).

FIGURA 39 – MATERIAL PISO



FONTE: Os autores (2019).



## 4 RESULTADOS

### 4.1 RESULTADO DO LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO

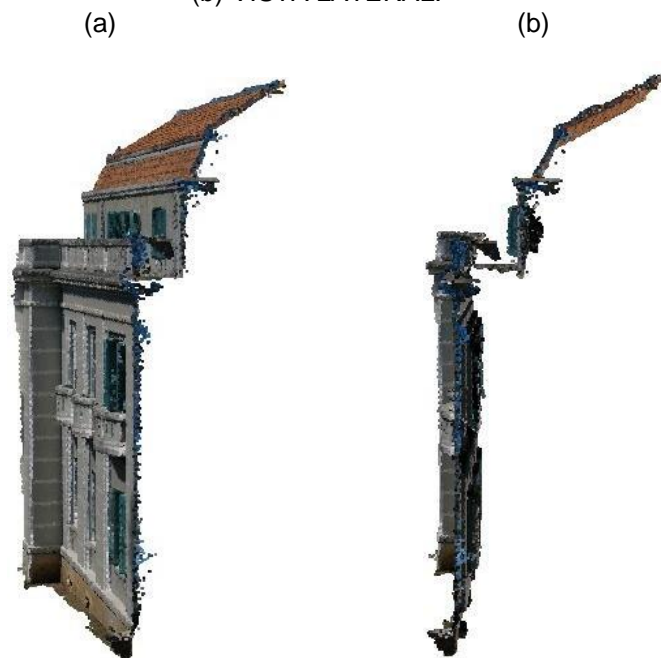
O levantamento da fachada resultou em uma nuvem de pontos (FIGURA 40), de alta qualidade na densificação, formato LAS, com 49.131.331 de pontos nas 3 bandas do tipo uint8, sendo elas RGB. O tempo total de processamento foi de 1 dia e 22 h, para 423 fotos tomadas no levantamento, nas Figuras 41-a, Figura 41-b, é possível notar a tridimensionalidade de diferentes vistas da fachada.

FIGURA 40 – NUVEM DE PONTOS DA FACHADA



FONTE: Os autores (2019).

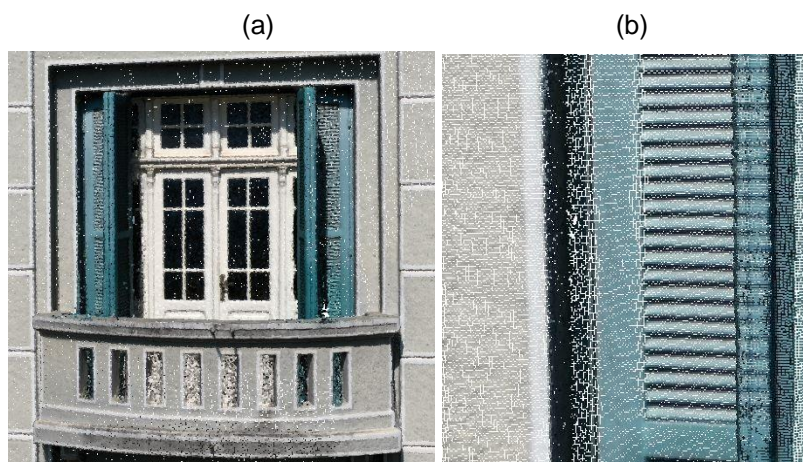
FIGURA 41 – TRIDIMENSIONALIDADE DA FACHADA EXTERNA: (a) VISTA NA TRANSVERSAL;  
(b) VISTA LATERAL.



FONTE: Os autores (2019).

Ao realizar uma aproximação na nuvem (FIGURA 42-a) (FIGURA 42-b), é possível visualizar com maior clareza a disponibilidade dos pontos na nuvem, é importante ressaltar que para atingir tamanha qualidade, o tempo de processamento foi alto e, mas só foi possível pois se tratava de um computador de alta performance.

FIGURA 42 – DETALHE DA NUVEM DE PONTOS DA FACHADA EXTERNA: (a)VISTA DA JANELA DO 2º PISO; (b)VISTA DA PERSIANA



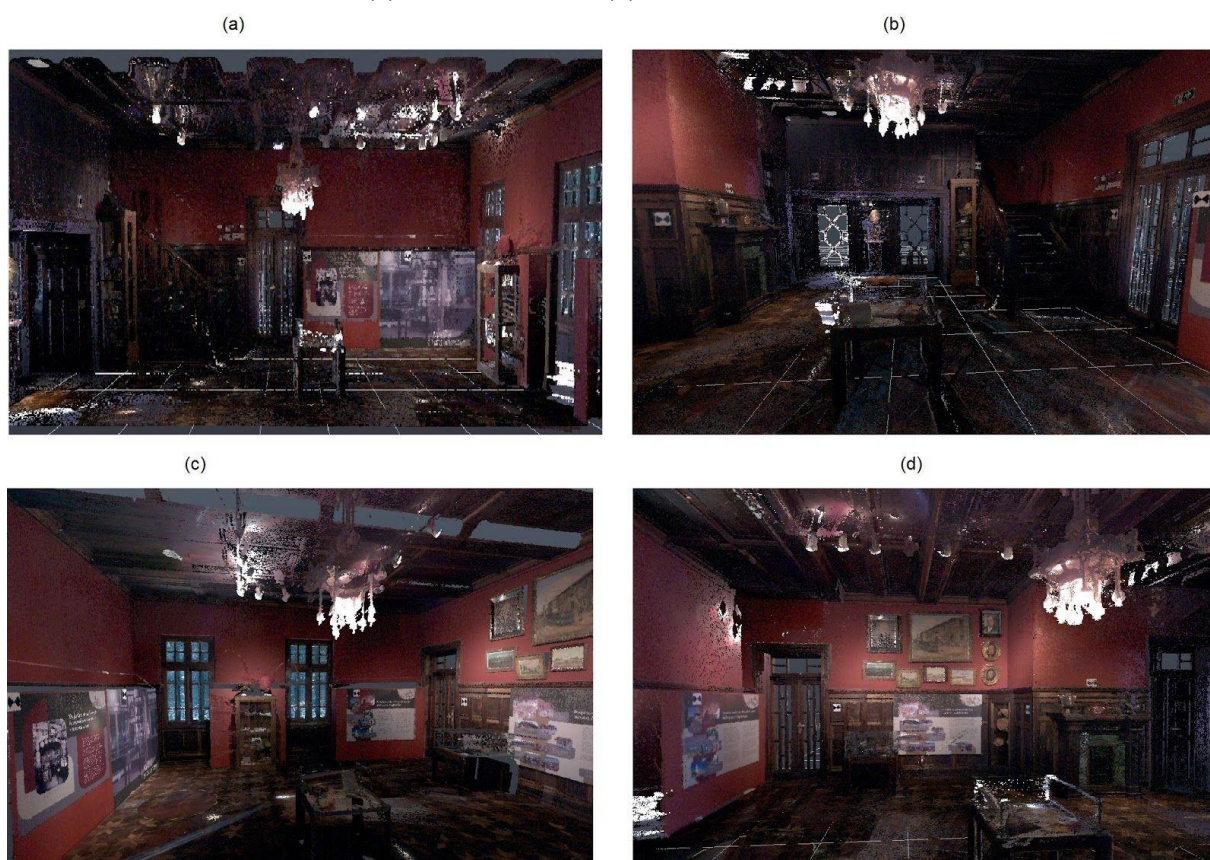
FONTE: Os autores (2019).



## 4.2 RESULTADO DO LEVANTAMENTO LASER TERRESTRE

A nuvem de pontos utilizando as 5 estações (FIGURA 43), observa-se a existência de elementos que provocam oclusão dos detalhes arquitetônicos do ambiente, como os quadros e os totens de informações que se encontram encostados nas paredes, obstruindo a varredura do molde de madeira das paredes, assim como a cristaleira ao lado da escada.

FIGURA 43 – NUVEM DE PONTOS SALA SÃO FRANCISCO: (a) VISTA HALL; (b) VISTA ESCADA; (c) VISTA JANELA; (d) VISTA LAREIRA



FONTE: Os autores (2019).

## 4.3 RESULTADO DA JUNÇÃO DOS PRODUTOS

A união entre as nuvens provindas das técnicas fotogramétricas e LST, mostrou ser possível com a utilização de pontos de apoio topográficos, fazendo com que as duas nuvens de pontos passem por uma transformação de referência, colocando as duas nuvens no mesmo sistema. O ganho de detalhamento visual através da utilização da nuvem densa provinda da fotogrametria é essencial para a

modelagens de detalhes arquitetônicos (FIGURA 44).

A utilização da nuvem por técnicas fotogramétricas ajudaria nas regiões na qual o LST não consegue realizar a varredura, como a superfície superior de elementos acima da altura do equipamento.

FIGURA 44 – UNIÃO DAS NUVENS DE PONTOS



FONTE: Os autores (2019).

#### 4.4 RESULTADO DA MODELAGEM HBIM

Utilizando a nuvem de pontos juntamente com o auxílio de fotografias dos detalhes do ambiente de estudo foi possível a modelagem da sala São Francisco, seguindo o nível 4 de detalhamento proposto por (GROETELAARS, 2015).

Utilizando o software REVIT 2018, foi gerado a tabela de quantitativos dos elementos, mostrando a quantidade de elementos por categoria, área do ambiente e perímetro (TABELA 5).



TABELA 5 – TABELA QUANTITATIVA

Categoria	Contador	Tipo	Ambiente: Perímetro	Ambiente: Área	Ambiente: Nome
Janelas	2	JANELA1			
Janelas: 2					
Mobiliário	1	Lareira	37,5	66 m <sup>2</sup>	Sala São Francisco
Mobiliário: 1					
Modelos genéricos	14				
Modelos genéricos	44		37,5	66 m <sup>2</sup>	Sala São Francisco
Modelos genéricos: 58					
Portas	2	PORTA-MUSEU1			
Portas	3		37,5	66 m <sup>2</sup>	Sala São Francisco
Portas: 5					
Total geral: 66					

FONTE: Os autores

Os elementos de famílias de portas e janelas foram modelados baseados em objetos já existentes na biblioteca do REVIT 2018, para a utilização desses elementos no projeto, foi modificado desses elementos de forma que ficassem parecidos com os seus correspondentes no mundo real, como pode ser visto na FIGURA 45 as modelagens das portas e na FIGURA 46 a modelagem da janela

FIGURA 45 – PORTA 1: (a) MODELO 1; (b) MODELO 2; (c) MODELO 3



FONTE: Os autores (2019).

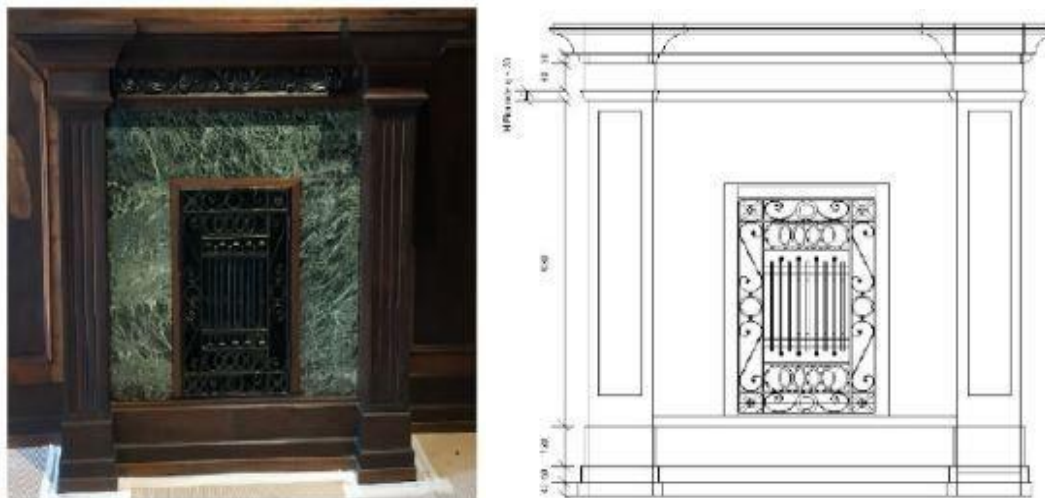
FIGURA 46 – JANELA



FONTE: Os autores (2019).

Para modelagem da lareira (FIGURA 47), foi necessário a criação do objeto sem a utilização da biblioteca do software, onde se fez necessário o auxílio de fotografias exclusivas feitas da região, para atingir o nível de detalhamento necessário a modelagem, pois nas regiões com maior nível de complexidade arquitetônica, a nuvem de pontos sozinha, não se apresentou suficiente.

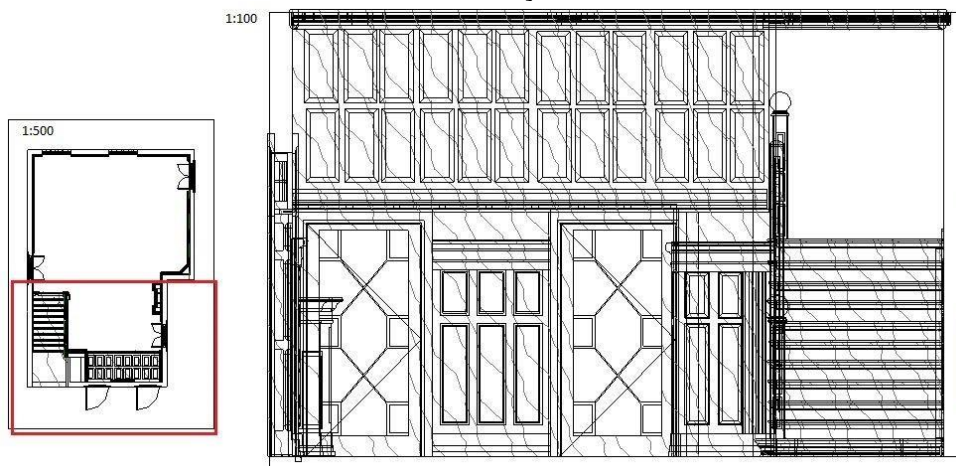
FIGURA 47 – LAREIRA: (a) FOTO DA LAREIRA; (b) MODELAGEM DA LAREIRA  
(a) (b)



FONTE: Os autores (2019).

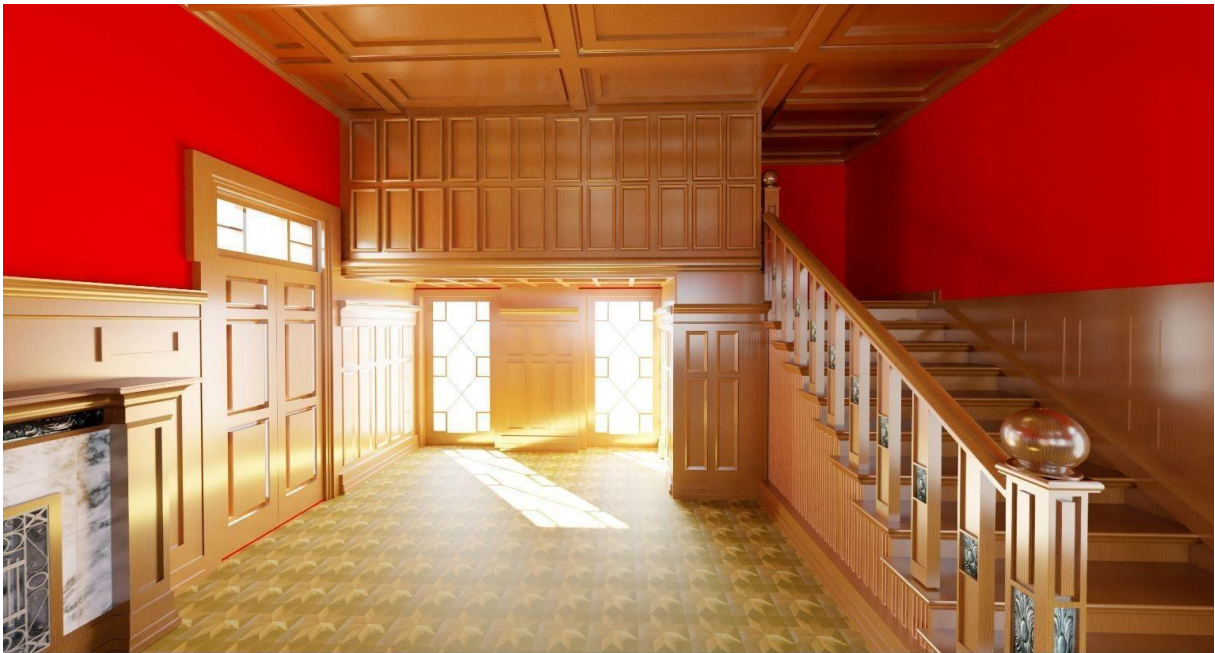
Na FIGURA 48, chamada parede da escada, é possível visualizar o modelo e a localização da renderização e na FIGURA 49 a renderização final, utilizou-se o efeito de iluminação sobre o ambiente, exemplificando o potencial de uso de uma renderização de ambiente e as possíveis simulações que podem ser feitas com a metodologia.

FIGURA 48 – MODELO E LOCALIZAÇÃO DA PAREDE DA ESCADA



FONTE: Os autores (2019).

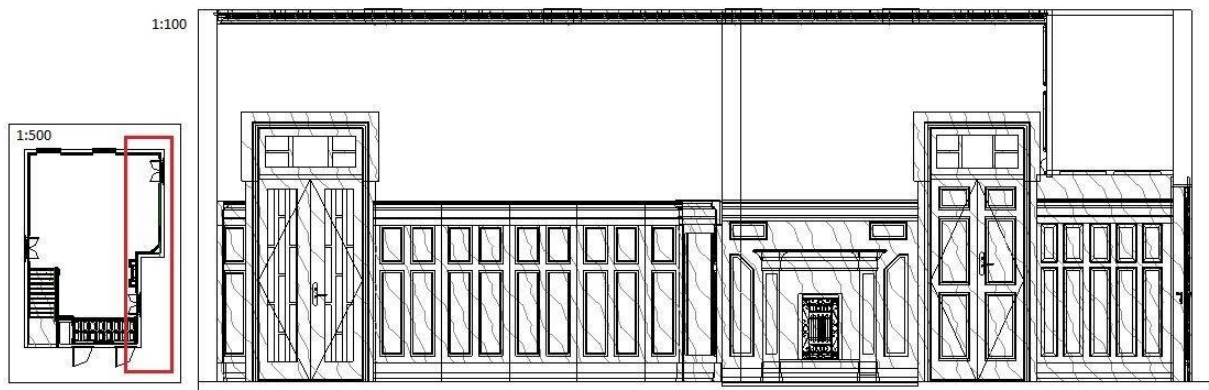
FIGURA 49 – PAREDE DA ESCADA RENDERIZADA



FONTE: Os autores (2019).

A FIGURA 50 é o modelo e a localização da renderização, chamada parede da lareira, na FIGURA 51 é possível visualizar o modelo renderizado, dando um destaque maior a lareira na FIGURA 52, devido ao os elementos arquitetônicos e seu nível de destaque na sala.

FIGURA 50 – MODELO E LOCALIZAÇÃO DA PAREDE LAREIRA



FONTE: Os autores (2019).



FIGURA 51 – PAREDE DA LAREIRA RENDERIZADA



FONTE: Os autores (2019).

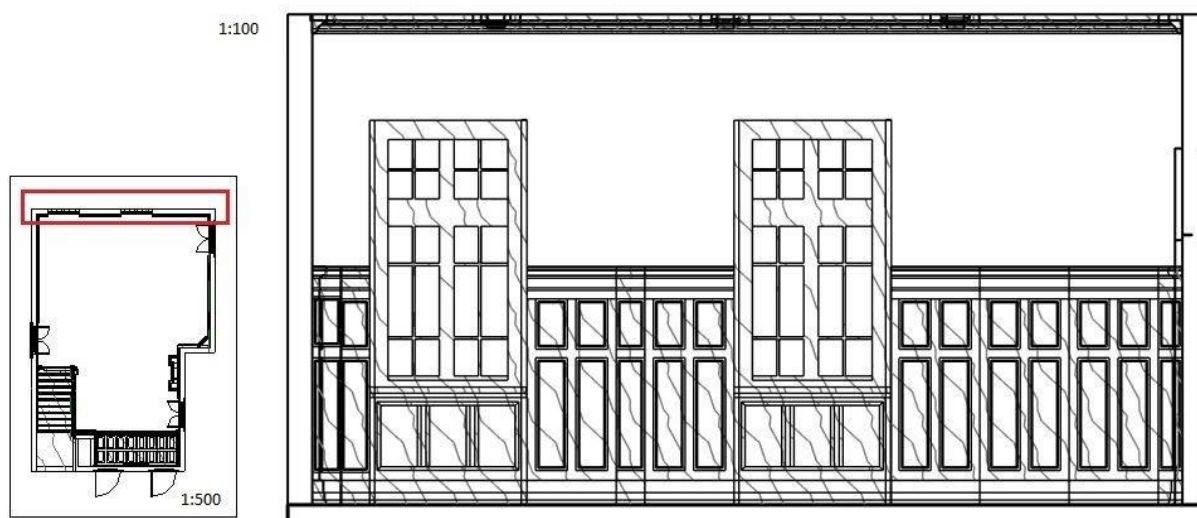
FIGURA 52 – LAREIRA RENDERIZADA



FONTE: Os autores (2019).

A FIGURA 53 é o modelo e a localização da renderização, chamado parede da janela, na FIGURA 54 temos a renderização, desta vista é possível um maior entendimento da dimensão da Sala São Francisco e de toda a extensão de objetos arquitetônicos que recobre a sala.

FIGURA 53 – MODELO E LOCALIZAÇÃO DA PAREDE JANELA



FONTE: Os autores (2019).

FIGURA 54 – PAREDE JANELA RENDERIZADA



FONTE: Os autores (2019).

Por último a FIGURA 55 é o modelo e a localização da renderização, chamada parede do hall, na FIGURA 56 temos a renderização, fechando assim a apresentação das quatro vistas da sala São Francisco, de maneira que observamos a qualidade da modelagem fidedigna a realidade.

FIGURA 55 – MODELO E LOCALIZAÇÃO DA PAREDE HALL



FONTE: Os autores (2019).

FIGURA 56 – PAREDE HALL RENDERIZADA



FONTE: Os autores (2019).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo mostrar a capacidade da utilização de ferramentas empregadas para a modelagem tridimensional estruturas, buscando como resultado um produto que possa ser aplicado na metodologia HBIM para criação de modelos tridimensionais acurados de edificações históricas, de modo que o modelo gerado possa ser utilizado para a manutenção, restauração da edificação histórica e até mesmo para o planejamento de novas exposições.

Os resultados obtidos confirmam a potencialidade das técnicas de levantamento, empregando-se LST e Vant para a reconstrução tridimensional da estrutura. O processo de coleta de dados em campo requereu cuidados com a forma de execução das coletas em campo. Para o levantamento executado por fotogrametria com o VANT da fachada observou-se que é fundamental o recobrimento com a câmara em diferentes inclinações em relação à fachada. Embora aumente a quantidade de fotos e conseqüentemente o tempo de processamento, a qualidade da modelagem final é maior; para o laser scanner, a definição da posição dos pontos de levantamento, bem, como a iluminação da área levantada afetarão o resultado.

Porém a criação e modelagem dos objetos paramétricos do ambiente interno mostrou ser algo complexo e de trabalho moroso, devido a arquitetura dos elementos e a dificuldade de observar detalhes dos mesmos na nuvem de pontos, sendo necessário auxílio de imagens para facilitar a modelagem. Outro ponto que dificultou o trabalho foi a capacidade de processamento dos computadores utilizados, que tornou o processo mais moroso.

Apesar destes limitantes, os produtos gerados apresentaram qualidade métrica e gráfica perfeitamente adequadas para o emprego em HBIM, e são uma fonte de informações valiosa para o planejamento, operação e principalmente o registro geométrico das estruturas levantadas.



## 5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- a. Aplicação da metodologia HBIM, utilizando documentos pré-existentes da edificação contendo as informações métricas dos elementos da edificação.
- b. Aumentar a densificação de elementos com geometria complexa, utilizando o método de extração-automática ou semi-automática do contorno dos elementos, trabalhando com a segmentação da nuvem de pontos para diminuir o custo computacional.
- c. Realizar a metodologia da modelagem HBIM na edificação inteira, comunicação com outros profissionais do museu para realizar o levantamento das informações dos elementos, definição dos parâmetros não métricos que serão levados em conta com a intenção de se realizar manutenção ou reparos nos objetos.
- d. A expansão da modelagem para todo o museu, internamente e externamente, de modo a criar um acervo de dados seguro para o prédio que é um patrimônio cultural da história dos paranaenses.

## REFERÊNCIAS

GSA - **General Service Administration**. Disponível em: <<https://www.gsa.gov>>. Acesso em: 02 nov. 2019

BARBOSA, Margarida de Carvalho Jerónimo. **As-built building information modeling (BIM) workflows: from point cloud data to BIM**. Tese (Doutorado), Faculdade de Arquitetura, Universidade de Lisboa, 2018.

BARISON, M. B. **Introdução de Modelagem da Informação da Construção (BIM) no Currículo: uma contribuição para a formação do projetista / M.B. Barison**. – versão corr. -- São Paulo, 2015. 387 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

LOWE, D. G. **Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints**. *International Journal of Computer Vision*, Vol. 60, nº 2, pp.91-110, 2004.

BASTIAN, A. V. **Métodos e técnicas de baixo custo para levantamento métrico de sítios históricos**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, 2015.

CAMPBELL, D. A. **Modeling Rules**. *Architecture Week*. Design Tools, p. T1.1, 2006. Disponível em [http://www.architectureweek.com/2006/1011/tools\\_1-1.html](http://www.architectureweek.com/2006/1011/tools_1-1.html). Acesso em 15 nov. 2019

CASSEMIRO, G. H. M.; PINTO, H. B. **Composição e processamento de imagens aéreas em alta resolução obtidas com Drone**. 2014. 78 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Eletrônica, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

COLOMINA, I. et al. **Towards a new paradigm for high-resolution low-cost photogrammetry and remote sensing**. In: *The International Archives of The Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2008, Beijing. *Anais...* Beijing, 2008, p. 1201-1206.

DA SILVA e SÁ, Guilherme José et al. Crânios, corpos e medidas: a constituição do acervo de instrumentos antropométricos do Museu Nacional na passagem do século XIX para o XX. *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*, v. 15, n. 1, p. 197-208, 2008.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. e Liston, K. (2011) **Manual BIM: Um Guia para a Construção de Modelagem de Informações para Proprietários, Gerentes, Designers, Engenheiros e Empreiteiros**. John Wiley & Sons, Hoboken.

GROETELAARS, N. (2015) **Criação de modelos BIM a partir de “nuvens de pontos”**: estudo de métodos e técnicas para documentação arquitetônica. Tese (Doutorado em Arquitetura). Salvador: Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Arquitetura.

KARACHALIOU, E. et al. UAV FOR MAPPING HISTORIC BUILDINGS: FROM 3D MODELLING TO BIM. **Isprs - International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences**, [s.l.], v. -2/9, p.397-402, 31 jan. 2019. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-2-w9-397-2019>.

KELLNER, Alexander W. A. **A reconstrução do Museu Nacional: bom para o Rio, bom para o Brasil!**. *Ciência e Cultura*, [s.l.], v. 71, n. 3, p.04-05, jul. 2019. FapUNIFESP (SciELO).

PETRIE, Gordon; TOTH, Charles K. **Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing**. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2018

**ROBERTO, A. J.** Extração de Informação Geográfica a partir de Fotografias Aéreas obtidas com VANTs para apoio a um SIG Municipal. **2013. 79 f.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Sistemas de Informação Geográfica, Universidade do Porto, Porto, 2013.

RODRÍGUEZ-MORENO, C. et al. **From point cloud to BIM: an integrated workflow for documentation, research and modelling of architectural heritage**. *Survey Review*, [s.l.], v. 50, n. 360, p.212-231, 2 dez. 2016. Informa UK Limited. <<http://dx.doi.org/10.1080/00396265.2016.1259719>>.

SANTIBAÑEZ, Sebastian Alfredo Fuentes. **Avaliação da Influência do Modelo de Ajustamento de Observações e da Densidade de Pontos Laser Scanner Terrestre para a Representação Paramétrica de Superfícies Planas**. 2010, 87f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2010.

STAIGER, Rudolf. **The geometrical quality of terrestrial laser scanner (TLS)**. In: PROCEEDINGS OF FIG WORKING WEEK, 2005. Cairo, Egypt, 2005.

VAN GENECHTEN, Björn. **Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning**: Training material based on practical applications. 2008.

VISOCKIENE, J. S. et al. Unmanned Aerial Vehicles for Photogrammetry: Analysis of Orthophoto

Images over the Territory of Lithuania. **International Journal of Aerospace Engineering**, p. 1-9, 2016.

WUTKE, Juliana Dias. **Métodos para Avaliação de um Sistema Laser Scanner Terrestre**. 2006, 97f.  
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de  
Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

## **ANEXO 1 – LINK PARA SALA SÃO FRANCISCO RENDERIZADA**

Sala São Francisco 360° - Vermelha. Disponível em:

<<https://pano.autodesk.com/pano.html?mono=jpgs/5c74d0d2-0ccb-4330-a162-97711899e2b7&version=2>>.



QR Code:

Sala São Francisco realidade virtual - Vermelha. Disponível em:

<<https://pano.autodesk.com/pano.html?url=jpgs/2178c085-70c8-42b0-b97b-c4b1b3e279f8&version=2>>.



QR Code:

Sala São Francisco 360° - Cinza. Disponível em:

<<https://pano.autodesk.com/pano.html?mono=jpgs/5d884723-2ad9-4cd6-9e1d-ef235b3f6e40&version=2>>.



QR Code:

Sala São Francisco realidade virtual - Cinza. Disponível em:

<<https://pano.autodesk.com/pano.html?url=jpgs/ce02172e-0054-4680-8153-3ee5d8cecaef&version=2>>.



QR Code: