

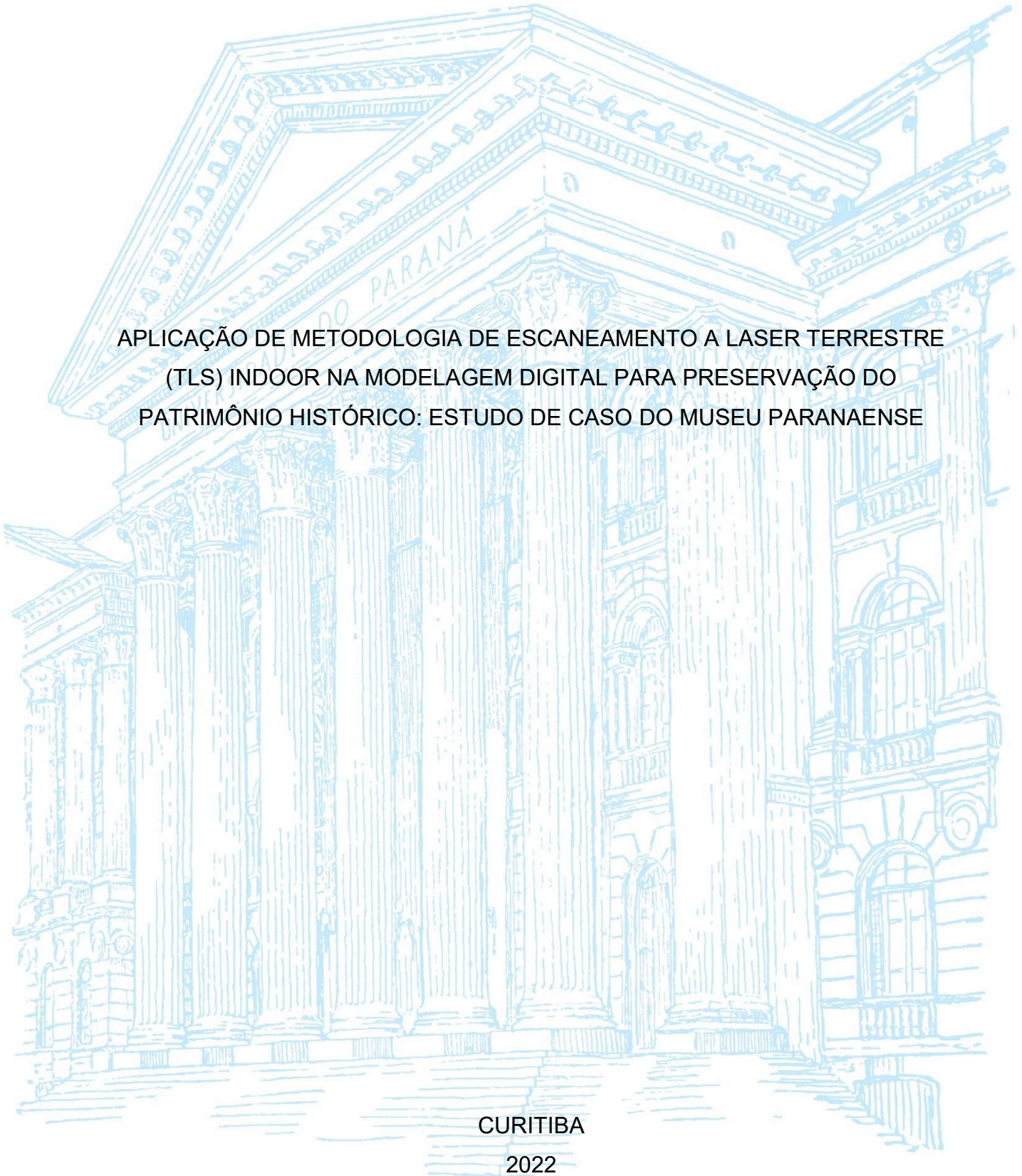
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LEONARDO HENRIQUE DE CAMARGO

APLICAÇÃO DE METODOLOGIA DE ESCANEAMENTO A LASER TERRESTRE  
(TLS) INDOOR NA MODELAGEM DIGITAL PARA PRESERVAÇÃO DO  
PATRIMÔNIO HISTÓRICO: ESTUDO DE CASO DO MUSEU PARANAENSE

CURITIBA

2022



LEONARDO HENRIQUE DE CAMARGO

APLICAÇÃO DE METODOLOGIA DE ESCANEAMENTO A LASER TERRESTRE  
(TLS) INDOOR NA MODELAGEM DIGITAL PARA PRESERVAÇÃO DO  
PATRIMÔNIO HISTÓRICO: ESTUDO DE CASO DO MUSEU PARANAENSE

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 título de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Orientador: Prof. Dr. Alex Soria Medina

Orientador: Prof. Dr. Luis Augusto Koenig Veiga

CURITIBA

2022

## TERMO DE APROVAÇÃO

LEONARDO HENRIQUE DE CAMARGO

APLICAÇÃO DE METODOLOGIA DE ESCANEAMENTO A LASER TERRESTRE  
(TLS) INDOOR NA MODELAGEM DIGITAL PARA PRESERVAÇÃO DO  
PATRIMÔNIO HISTÓRICO: ESTUDO DE CASO DO MUSEU PARANAENSE

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 título de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

\_\_\_\_\_  
Prof(a).Dr(a)./Msc. \_\_\_\_\_

Orientador(a) – Departamento \_\_\_\_\_, INSTITUIÇÃO

\_\_\_\_\_  
Prof(a). Dr(a)./Msc. \_\_\_\_\_

Departamento \_\_\_\_\_, INSTITUIÇÃO

\_\_\_\_\_  
Prof(a). Dr(a)./Msc. \_\_\_\_\_

Departamento \_\_\_\_\_, INSTITUIÇÃO

Curitiba, \_\_de \_\_\_\_\_ de 2022.

À minha esposa, que se dedica diariamente comigo para construir nossos dias futuros, juntos do filho que estamos esperando. Ao meu irmão mais novo que me ensinou sobre carinho e zelo que um irmão mais velho deve ter. E sobretudo aos meus pais que me amam, ensinam e protegem desde o meu primeiro dia. À família que tanto amo.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, em primeiro lugar, aos meus excelentes professores orientadores, o Dr. Alex Soria Medina e o Dr. Luis Augusto Koenig Veiga, não apenas pela jornada final, mas por todos os ensinamentos transmitidos ao longo de toda a graduação.

Um agradecimento especial para o aluno pesquisador de pós-graduação Samir de Souza Oliveira Alves, por me ajudar a operar o equipamento e me ensinar a pós processar os dados e, para a bacharelada de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura Letícia Bayer de Lara, por me emprestar os produtos dela para compor os meus e me ensinar sobre a metodologia empregada.

Agradecimento à equipe do Museu Paranaense, em especial na pessoa do Arquiteto Nicolas Marques de Oliveira, que calorosamente nos receberam para permitir a execução da parte prática desse projeto.

Obrigado à toda a comunidade da UFPR envolvida com o curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, aos professores, técnicos e colegas que fizeram dessa uma das melhores experiências da minha vida.

Agradeço também à Hexagon Leica, pela licença para o processamento dos dados do Laser scanner no programa Cyclone Register 360.

Tudo que você está vendo é parte do seu mundo exterior, mas o modo como você o percebe tem a ver com as lentes que está usando. Você não pode dizer que o mundo não é vermelho se é assim que o enxerga. (GAARDER, Jostein, 1991)

## RESUMO

A preservação do patrimônio histórico, material ou imaterial, é um assunto que tem tido destaque nos últimos anos no Brasil, principalmente em decorrência da tragédia ocorrida no Museu Nacional no Rio de Janeiro. Diversas tecnologias têm sido aplicadas neste sentido com destaque atualmente aos sistemas de varredura a laser, que permite a rápida coleta de milhões de pontos para a definição de uma nuvem de pontos do objeto mapeado. Neste trabalho é aplicada uma metodologia específica para a reconstituição digital de um ambiente interno de uma edificação histórica, tendo como estudo de caso, ambientes do Museu Paranaense. A metodologia aplicada se trata da modelagem realizada a partir de uma nuvem de pontos de alta precisão e densidade obtida de um levantamento por escaneamento a laser, incluindo todo o levantamento, tratamento e a utilização de dados de campo, para posterior modelagem. Foram elaborados, além do modelo digital dos ambientes, uma série de produtos renderizados em alta resolução e uma simulação panorâmica de navegação entre os ambientes levantados. Ao final, foi possível evidenciar o propósito de aplicação, e demonstrar o potencial da metodologia empregada na geração de documentos que podem auxiliar na preservação do patrimônio histórico.

Palavras-chave: Escaneamento a laser. Modelagem de informação da construção. Nuvens de pontos. Preservação do patrimônio histórico.

## **ABSTRACT**

The preservation of historical heritage, material or immaterial, is a subject that has been highlighted in recent years in Brazil, mainly as a result of the tragedy that occurred at the National Museum in Rio de Janeiro. Several technologies have been applied in this sense, with emphasis currently on laser scanning systems, which allow the rapid collection of millions of points for the definition of a point cloud of the mapped object. In this work, a specific methodology is applied for the digital reconstitution of an internal environment of a historical building, having as a case study, environments of the Paranaense Museum. The methodology applied is the modeling carried out from a cloud of high precision and density points obtained from a laser scanning survey, including all the survey, treatment and use of field data, for further modeling. In addition to the digital model of the environments, a series of products rendered in high resolution and a panoramic simulation of navigation between the surveyed environments were created. In the end, it was possible to highlight the purpose of application, and demonstrate the potential of the methodology used in the generation of documents that can help in the preservation of historical heritage.

Keywords: Laser scanning. Building information modeling. Point clouds. Preservation of historic heritage.



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – RECORTE DO MAPA DO SETOR HISTÓRICO DE CURITIBA NA REGIÃO DO MUPA .....	22
FIGURA 2 – ANEXO PRINCIPAL PATRIMONIAL DO MUPA.....	23
FIGURA 3 – MAPA DO MUSEU COM A DISPOSIÇÃO DAS SALAS EXPOSITIVAS .....	23
FIGURA 4 – SALA EXPOSITIVA 3 NO PAVIMENTO SUPERIOR DO MUPA.....	24
FIGURA 5 – LOCAL DE EXPOSIÇÃO DO MONÓLITO DE PIRAQUARA NO MUPA .....	25
FIGURA 6 – CROQUI DAS ESTAÇÕES LEVANTADAS COM O SENSOR LASER	26
FIGURA 7 – COMPARAÇÃO FOTO HDR SEM FLASH + ABERTURA VS HDR COM FLASH + FECHAMENTO .....	28
FIGURA 8 – LASER SCANNER LEICA BLK360.....	29
FIGURA 9 – GRADE DE REPRESENTAÇÃO DAS NUVENS DE PONTOS NO LEICA CYCLONE 360 .....	31
FIGURA 10 – LINKS ENTRE NUVENS NO REGISTRO .....	32
FIGURA 11 – NUVEM DE PONTOS CLASSIFICADA POR INTENSIDADE NO AUTODESK RECAP .....	33
FIGURA 12 – TRANSLAÇÃO E ROTAÇÃO DA NUVEM DE PONTOS NO AUTODESK REVIT.....	35
FIGURA 13 – INSERÇÃO DE PAREDES NO AUTODESK REVIT.....	37
FIGURA 14 – INTERPRETAÇÃO DAS CAVIDADES NUVEM DE PONTOS VS FOTOGRAFIA.....	38
FIGURA 15 – RECONSTRUÇÃO DO PERFIL DE RODAPÉ.....	39
FIGURA 16 – INSERÇÃO DE DIFERENTES ELEMENTOS DE PISO .....	40
FIGURA 17 – INSERÇÃO DAS SANCASPOR GRADE MODULAR SEMI AUTOMÁTICO .....	41
FIGURA 18 – INSERÇÃO DAS SANCAS POR GRADE MODULAR DESENHADO MANUALMENTE.....	41
FIGURA 19 – MODELAGEM DA PORTA LATERAL DO AUDITÓRIO .....	43
FIGURA 20 – MODELAGEM DA PORTA DOS FUNDOS DO AUDITÓRIO .....	43
FIGURA 21 – MODELAGEM DO PADRÃO DE JANELA DO AUDITÓRIO .....	44
FIGURA 22 – APLICAÇÃO DE MATERIAIS GENÉRICOS NO SKETCHUP .....	45

FIGURA 23 – EDIÇÃO DA FOTOGRAFIA PARA CRIAÇÃO DO MATERIAL DE PISO DO AUDITÓRIO .....	49
FIGURA 24 – RECORTE DO AUDITÓRIO NA NUVEM DE PONTOS TOTAL: VISTA ANTERIOR.....	51
FIGURA 25 – RECORTE DO AUDITÓRIO NA NUVEM DE PONTOS TOTAL: VISTA POSTERIOR.....	52
FIGURA 26 – RECORTE DA SALA DO PIANO NA NUVEM DE PONTOS TOTAL ..	53
FIGURA 27 – RECORTE DO DEPÓSITO DA NUVEM DE PONTOS FINAL.....	54
FIGURA 28 – RENDER DO AUDITÓRIO: MODELAGEM SEM APLICAÇÃO DE MATERIAIS.....	55
FIGURA 29 – RENDER DA SALA DO PIANO: MODELAGEM SEM APLICAÇÃO DE MATERIAIS.....	56
FIGURA 30 – RENDER DO DEPÓSITO: MODELAGEM SEM APLICAÇÃO DE MATERIAIS.....	57
FIGURA 31 – RENDER DO AUDITÓRIO: MODELAGEM COM APLICAÇÃO DE MATERIAIS.....	58
FIGURA 32 – RENDER DA SALA DO PIANO: MODELAGEM COM APLICAÇÃO DE MATERIAIS.....	59
FIGURA 33 – RENDER DO DEPÓSITO: MODELAGEM COM APLICAÇÃO DE MATERIAIS.....	60
FIGURA 34 – RENDER DO AUDITÓRIO: MODELAGEM COM APLICAÇÃO DE MATERIAIS E MOBILIÁRIO.....	61
FIGURA 35 – RENDER DA SALA DO PIANO: MODELAGEM COM APLICAÇÃO DE MATERIAIS E MOBILIÁRIO.....	62
FIGURA 36 – RENDER DO AUDITÓRIO: MODELAGEM DE SIMULAÇÃO DE EXPOSIÇÃO .....	63
FIGURA 37 – RENDER DO AUDITÓRIO: MODELAGEM DE SIMULAÇÃO DE EXPOSIÇÃO .....	64

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – DESCRIÇÃO DAS ESTAÇÕES.....	27
QUADRO 2 – DETALHES SOBRE OS LINKS DAS NUVENS.....	32
QUADRO 3 – DESCRIÇÃO DOS PLANOS NIVELARES .....	36
QUADRO 4 – MATERIAIS E PARÂMETROS DE RENDERIZAÇÃO.....	46

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – INFORMAÇÕES DO SENSOR LASER.....	29
---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

FLIR	- <i>Forward Looking Infrared</i>
GEENG	- Laboratório de Geodésia Aplicada à Engenharia
GNSS	- <i>Global Navigation Satellite System</i>
HBIM	- <i>Heritage Building Information Modelling</i>
HDR	- <i>High Dynamic Range</i>
INS	- <i>Inertial Navigation System</i>
LiDAR	- <i>Light Detection and Ranging</i>
MUPA	- Museu Paranaense
TLS	- <i>Terrestrial Laser Scanning</i>
UFPR	- Universidade Federal do Paraná

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\sigma$  -sigma, referente à precisão nominal do equipamento

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	17
1.2 OBJETIVOS .....	17
1.2.1 Objetivo geral .....	17
1.2.2 Objetivos específicos.....	17
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>19</b>
2.1 ESCANEAMENTO A LASER TERRESTRE (TLS).....	19
2.2 MODELAGEM DE INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO PATRIMONIAL (HBIM) .....	20
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>22</b>
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	22
3.2 PLANEJAMENTO DE ESTAÇÕES E EXECUÇÃO DO ESCANEAMENTO A LASER TERRESTRE .....	25
3.3 EQUIPAMENTOS EMPREGADOS .....	28
3.4 PÓS PROCESSAMENTO .....	30
3.5 MODELAGEM ARQUITETÔNICA.....	33
3.5.1 Paredes .....	36
3.5.2 Piso .....	39
3.5.3 Teto .....	40
3.5.4 Portas e aberturas.....	42
3.5.5 Janelas .....	43
3.6 GERAÇÃO DE PRODUTO RENDERIZADO EM ALTA DEFINIÇÃO .....	44
<b>4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS</b> .....	<b>51</b>
4.1 NUVEM DE PONTOS PÓS PROCESSADA.....	51
4.2 IMAGENS RENDERIZADAS EM ALTA DEFINIÇÃO .....	55
4.2.1 Imagens renderizadas sem aplicação de materiais.....	55
4.2.2 Imagens renderizadas com aplicação de materiais e sem mobiliário.....	58
4.2.3 Imagens renderizadas com aplicação de materiais e com mobiliário.....	61
4.2.4 Imagens renderizadas com aplicação de materiais simulando interferências ..	63
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>65</b>
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	65
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>67</b>
<b>ANEXO 1 – LINK PARA O VISUALIZADOR</b> .....	<b>69</b>

<b>ANEXO 2 – ZONA HISTÓRICA – ZH .....</b>	<b>70</b>
<b>ANEXO 3 – CYCLONE REGISTER 360: REGISTRATION REPORT .....</b>	<b>71</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, como arte, ciência e tecnologia conta com uma série de abordagens clássicas e modernas para problemas permeados na multidisciplinaridade de outras áreas técnicas, fornecendo apoio essencialmente na aquisição de dados que vão subsidiar a tomada de decisões pelos demais profissionais envolvidos nos projetos. Mesmo as técnicas clássicas de topografia, fundamentadas principalmente nas medidas lineares e angulares, ainda são muito empregadas e, inclusive, no seu aspecto industrial quando utilizadas para os levantamentos em projetos de *As Built* ou projetos de Como Construído, de acordo com a NBR 14645-1 (2000).

No entanto, nas últimas décadas tem crescido o interesse na aplicação de técnicas modernas na execução dos levantamentos para projetos de *as built* e nesse contexto tem-se o Escaneamento a Laser Terrestre (TLS), uma técnica que se baseia na execução de uma varredura (irradiação) de centenas ou milhares de pontos. Segundo Vosselman e Maas (2010), esta técnica é fundamentada na aquisição de coordenadas tridimensionais a partir da emissão de pulsos laser até os objetos, medindo a distância do dispositivo ao alvo. Cabe salientar que também são determinados ângulos verticais e direções horizontais, que em conjunto com a distância medida, permitem calcular as coordenadas 3D.

Outra grande contribuição para o avanço nos projetos de *as built* foi a disseminação do BIM (Building Information Models) ou Modelagem de Informações da Construção, que difere dos sistemas CAD (Computer - Aided Design) ou Desenho assistido por Computador, ao não se basear apenas em desenhos de formas e indicações, mas sim em um ambiente multidisciplinar que engloba as diversas fontes de dados gráficos ou não para compor a modelagem e gerenciamento da construção ou posteriormente de todo o empreendimento.

O intuito deste projeto é demonstrar a prática de aplicação do levantamento por Escaneamento a Laser Terrestre (TLS) em ambientes internos, para subsidiar a modelagem dos elementos arquitetônicos da área de elementos suficientes para compor um sistema BIM, como também proporcionar elementos necessários para a geração de produtos para serem visualizados em alta definição.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A temática deste projeto é atrativa quanto a constatação da eficiência de equipamentos tratados como relativas novidades nas áreas de aplicação às quais se inserem, além da visualização de produtos ricos em detalhes proporcionados justamente pela capacidade destes equipamentos e, pela riqueza das ferramentas de edição dispostas para processar e reconstituir informação a partir de dados brutos. Entre uma nuvem de pontos e uma imagem renderizada há uma sequência de atividades envolvidas, no entanto, é comum julgarmos produtos diferentes comparativamente, mesmo que sem um não exista o outro ou que o primeiro envolva procedimentos que demandem minutos para a sua obtenção e o segundo demande horas de trabalho.

Atualmente há uma crescente busca pela automação de tarefas, inclusive na metodologia proposta para a modelagem abordada neste projeto, vide as pesquisas publicadas na revista internacional *Automation in Construction*, que procuram aliar arquitetura e engenharia com visão computacional, no entanto, ainda muito restritas ao campo acadêmico, enquanto na prática se aplicam as técnicas de modelagem manuais ou semiautomatizadas por ferramentas inerentes aos programas utilizados.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Demonstrar a aplicabilidade da metodologia terrestre de Escaneamento a Laser Terrestre (TLS) na reconstituição de elementos arquitetônicos orientados pela nuvem de pontos resultante, para subsidiar um projeto de modelagem de informação da construção patrimonial (HBIM – Historical BIM), com estudo de caso realizado no Museu Paranaense.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Levantar nuvens de pontos com o método terrestre de escaneamento a laser;

- Processar e registrar os dados levantados com programa específico;
- Modelar os elementos arquitetônicos, orientado pela nuvem de pontos;
- Gerar produtos renderizados para visualização dos resultados.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 ESCANEAMENTO A LASER TERRESTRE (TLS)

Entre as diversas técnicas que compõem a moderna ciência de aquisição de dados está a varredura ou escaneamento a laser, seu princípio fundamental segue a premissa imposta pelos sensores ativos, os quais possuem mecanismos para emissão de um pulso no espectro eletromagnético para registrar a informação obtida no retorno dele após sua interação com o meio ou superfície, diferentemente do princípio passivo em que o sensor só tem meios de registrar informações sem interferir na geração dela. O produto desse registro, no caso ativo, é uma nuvem de pontos com informações de localização XYZ ou ENH (quando o sensor integrar GNSS e INS), intensidade referente ao retorno do pulso e pode conter informação RGB (Red, Green, Blue) quando o sensor incluir uma câmera.

O escaneamento a laser ganhou muito espaço no mercado devido seu nível de detalhamento e o tempo de aquisição dos dados. Junto da fotogrametria aérea clássica, o escaneamento aéreo tem sido aplicado na varredura de cidades inteiras para orientar a criação de modelos de superfície e terreno, valiosos na interpretação do relevo e na retificação de imagens aéreas.

Devido à rapidez de captura de dados e à capacidade de obter nuvens de pontos instantaneamente, a varredura a laser tornou-se uma ferramenta essencial junto com os métodos de documentação baseados em imagens. As pesquisas de estação total, por outro lado, exigem mais tempo no local e geralmente não fornecem o mesmo nível de detalhe da superfície. (GRUSSENMEYER, Pierre e HANKE, Klaus, 2010, página 271).

Em termos terrestres, o TLS tem sido aplicado no chamado Mapeamento Móvel, em que o sensor é embarcado em um veículo pilotado por um trecho no qual deseja-se escanear as rodovias, ferrovias, sinalização vertical ou fachadas prediais. No entanto, o sensor pode ser utilizado em um levantamento estático e, dessa forma aplicado ao mapeamento *indoor* de edificações, no inventário florestal, no controle de deslocamentos de estruturas e de massa, dentre outros.

## 2.2 MODELAGEM DE INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO PATRIMONIAL (HBIM)

A urbanização é um processo natural no desenvolvimento, econômico e social, de uma cidade e vem acompanhado de ações que alteram as paisagens que ali se estabeleciam. A aplicação de zoneamentos progressivos, a implantação de infraestruturas, a canalização de cursos d'água, dentre outros são alguns dos exemplos de interferências inerentes à paisagem urbana e, em algumas ocasiões, pode haver interferência no patrimônio histórico. O patrimônio histórico é objeto fundamental da identidade cultural de uma cidade, portanto, a preservação dele comumente acompanha qualquer tomada de decisão que venha a modificar o ecossistema do qual ele faça parte.

Como ferramenta de subsídio às tomadas de decisões, os modelos tridimensionais passaram a ganhar valor nos espaços de discussão, que antes eram exclusivamente orientados por esquemas e documentação. Nesse sentido é de se esperar que uma ferramenta com tamanho potencial, como é o BIM, passaria a ser aplicada na preservação da identidade histórico arquitetônica, pois ele engloba todas as facetas da discussão, desde os esquemas gráficos técnicos e visual até a documentação. É a partir daí que se entende o Modelo de Informações de Construções Históricas (HBIM).

Modelagem de Informações de Construções Históricas (HBIM) é uma solução inovadora em que objetos paramétricos interativos que representam elementos arquitetônicos são construídos a partir de dados históricos, esses elementos (incluindo detalhes atrás da superfície de varredura) são mapeados com precisão em uma nuvem de pontos ou levantamento baseado em imagem. Os elementos arquitetônicos são roteirizados usando uma linguagem descritiva geométrica (GDL). (MURPHY, Maurice et al., 2009).

Outro valor em se ter um sistema HBIM de uma construção histórica está em, não apenas saber como lidar com seus entornos e a infraestrutura local, mas também em como preservar suas relações estruturais, afinal, todo material aplicado a uma edificação tem prazo de validade e deve ser revitalizado ocasionalmente. Há igual valor na adaptação para novas normas prediais, por exemplo, a distribuição de energia é algo passível de revisão rotineira e, num edifício histórico, interações mal orientadas podem gerar acidentes.

Tal modelagem tem sido implementada sob demanda, mas, o movimento de difusão dessa tecnologia tem ganhado força na última década, seguindo uma tendência de acúmulo de dados comum às outras áreas técnicas.

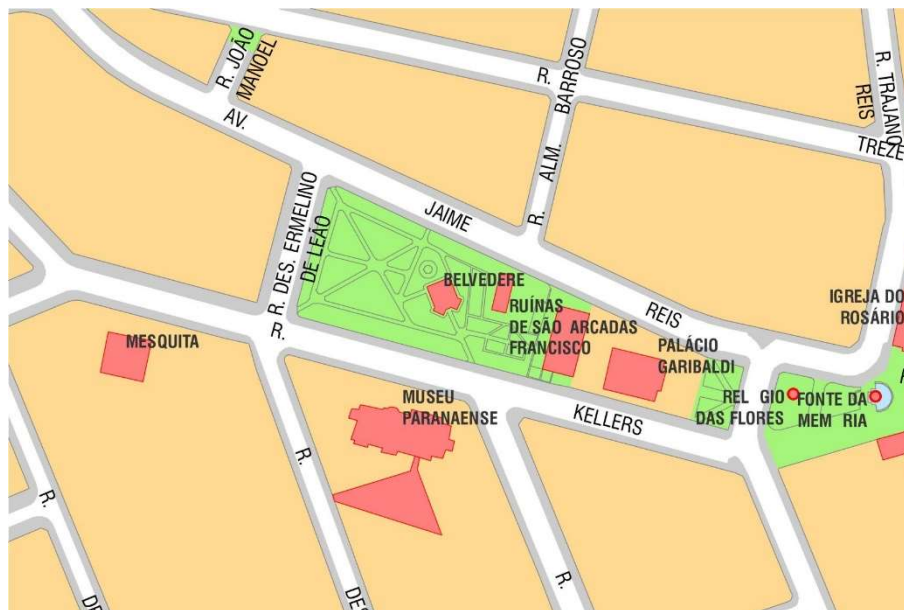
### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

O Museu Paranaense ou MUPA está localizado na Rua Kellers no bairro São Francisco em Curitiba – PR, sendo um dos exemplares arquitetônicos do Setor Histórico da cidade inicialmente delimitado em decreto municipal em 1971 (figura 1). Além disso está situado na zona histórica, ANEXO 2, prevista no Art. 71 do decreto de zoneamento vigente (figura 2):

Art. 71. A Zona Histórica - ZH, situada na área central, constitui o núcleo histórico de Curitiba, com uma paisagem urbana caracterizada por edificações de valor histórico, cultural e paisagístico relevantes para a preservação da memória do processo de ocupação da cidade. (A CÂMARA MUNICIPAL DE CURITIBA, 2019).

FIGURA 1 – RECORTE DO MAPA DO SETOR HISTÓRICO DE CURITIBA NA REGIÃO DO MUPA



FONTE: Adaptado de [turismo.curitiba.pr.gov.br](http://turismo.curitiba.pr.gov.br) (acesso em 04/2022).

FIGURA 2 – ANEXO PRINCIPAL PATRIMONIAL DO MUPA



FONTE: museuparanaense.pr.gov.br (acesso em 04/2022).

A primeira visita técnica realizada ao Museu neste trabalho ocorreu no dia 10 de fevereiro de 2022, nesta data todos os ambientes de exposição foram visitados com intuito de reconhecimento, tanto educativo quanto para embasamento do projeto, para ter contato com as peças do acervo e com a estrutura que fariam parte do projeto. Nesta visita surgiu o interesse de utilizar como área de estudo o ambiente de número 3 do pavimento superior, indicado na figura 3, pois se trata de uma sala expositiva que contém uma série de itens relacionados a história cartográfica do Paraná.

FIGURA 3 – MAPA DO MUSEU COM A DISPOSIÇÃO DAS SALAS EXPOSITIVAS



FONTE: museuparanaense.pr.gov.br (acesso em 04/2022).



FIGURA 4 – SALA EXPOSITIVA 3 NO PAVIMENTO SUPERIOR DO MUPA



FONTE: O autor (2022).

A visitação seguinte ocorreu no dia 15 de fevereiro de 2022 com finalidade de definir uma área de estudo final e da execu o do levantamento a laser. Após uma reunião técnica com a equipe do Museu ficou decidido que a sala objetivo do levantamento seria o auditório ao lado do hall de entrada e, suas duas salas anexas, pois as demais salas estavam abertas para exposi o, o que poderia ser um inc modo para os visitantes do Museu bem como ocasionar obstru es que poderiam gerar oclusões nas nuvens de pontos devido ao trânsito de pessoas ao redor do sensor. As três salas objetivos de estudo deste projeto serão referenciadas nos capítulos seguintes como:

- a) Auditório;
- b) Sala do piano;
- c) Depósito.

O outro t pico discutido com a equipe do Museu foi a possibilidade de escanearmos um objeto do acervo, de forma que foi decidido pelo Monólito de Piraquara, localizado no outro anexo do Museu e que se tratar de um fragmento de rocha metamórfica utilizada no passado para a determina o dos solstícios e equinócios, em fun o da proje o de suas sombras proveniente de sua intera o com os raios luminosos do sol.

FIGURA 5 – LOCAL DE EXPOSIÇÃO DO MONÓLITO DE PIRAQUARA NO MUPA



FONTE: comunicacao.pr.gov.br (acesso em 04/2022).

### 3.2 PLANEJAMENTO DE ESTAÇÕES E EXECUÇÃO DO ESCANEAMENTO A LASER TERRESTRE

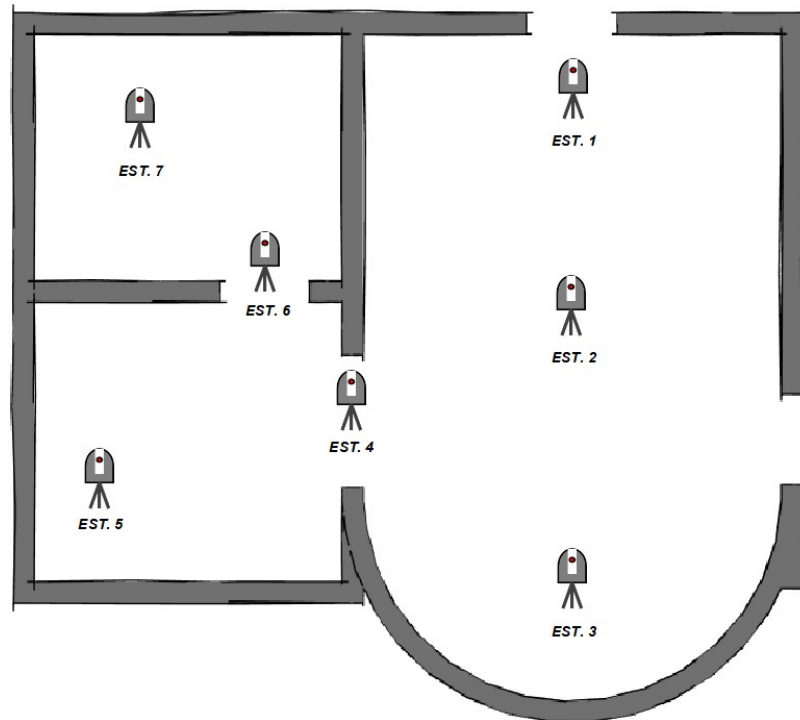
O planejamento do levantamento é um procedimento fundamental à toda atividade profissional, essencialmente em projetos que atendem cronogramas físico-financeiros e, que para tal, devem evitar a repetição de esforços e desperdícios.

No levantamento a laser não é diferente, quando na coleta dos dados da infraestrutura do Museu, um requisito determinante a ser considerado foi o planejamento de estações ou onde seria estacionado o laser, pois as nuvens de pontos resultantes deste levantamento deveriam ter regiões de sobreposição para permitir o posterior registro em laboratório. O registro é uma etapa de pós-processamento que permite a união das nuvens de pontos geradas nas diferentes estações formando um modelo único do objeto a ser levantado.

Para garantir a sobreposição das nuvens de pontos obtidas nos distintos ambientes, foram planejadas duas estações (Est. 4 e Est. 6 - figura 6) nos vãos de transição entre os ambientes. Quanto à captura individual dos ambientes, para a sala do piano e para o depósito, foi pensada apenas uma estação no interior de cada uma, pois a área destas salas é reduzida (Est. 5 e Est. 7 - figura 6). O ambiente auditório, no entanto, possui maior área e, maior complexidade em relação a sua infraestrutura, enquanto as demais salas são retangulares, esta possui uma

parede curva com três aberturas e um forro modular com perfil de sanca em madeira, portanto, considerando esses fatores, foram pensadas três estações (Est. 1, Est. 2 e Est. 3 - figura 6) para realizar o levantamento desta sala.

FIGURA 6 – CROQUI DAS ESTAÇÕES LEVANTADAS COM O SENSOR LASER



FONTE: O autor (2022).

O levantamento desta etapa foi executado na segunda visita ao Museu. Para acompanhar as tarefas propostas, a equipe da UFPR e do MUPA fora composta por:

a) UFPR:

- Professor orientador Dr. Luis Augusto Koenig Veiga
- Professor orientador Dr. Alex Soria Medina
- Aluno pesquisador de pós-graduação Samir de Souza Oliveira Alves
- Graduando e autor do projeto Leonardo H. de Camargo

b) MUPA:

- Arquiteto Nicolas Marques de Oliveira

A equipe visitante se encontrou às 14 horas em frente ao Museu, onde foram recebidos e acompanhados até o auditório, ali as atividades se iniciaram e seguiram a configuração indicada no croqui (figura 6). As estações levantadas podem ser descritas em:

QUADRO 1 – DESCRIÇÃO DAS ESTAÇÕES

<b>Estação</b>	<b>Hora de início</b>	<b>Modo de captura da iluminação</b>	<b>Nomenclatura interna</b>
1	14:24	HDR	BLK360_3504089_Setup455
2	14:36	HDR	BLK360_3504089_Setup456
3	14:44	HDR + Flash	BLK360_3504089_Setup457
4	14:52	HDR + Flash	BLK360_3504089_Setup458
5	14:58	HDR + Flash	BLK360_3504089_Setup459
6	15:13	HDR + Flash	BLK360_3504089_Setup460
7	15:20	HDR + Flash	BLK360_3504089_Setup461

FONTE: O autor (2022).

De acordo com o manual do equipamento empregado, o tempo estimado para o escaneamento a laser na configuração de alta densidade é de 3 minutos e 40 segundos, enquanto o tempo estimado de captura das imagens na configuração com HDR (*High Dynamic Range*) é de 2 minutos e 30 segundos.

As estações foram capturadas em dois modos distintos em razão da iluminação dos ambientes. Para testar os resultados obtidos, as duas primeiras estações foram operadas com captura em modo HDR sem flash e com as venezianas das janelas abertas, de forma que havia interferência de iluminação artificial e natural no ambiente, no entanto, a componente natural provocou superexposição na imagem capturada, além disso a outra solução se mostrou mais eficiente, portanto, as cinco outras estações foram operadas em modo HDR com flash e com as venezianas fechadas, retirando a interferência da iluminação natural na captura, a figura 7 mostra os dois tipos de levantamentos onde pode-se perceber as diferenças.

FIGURA 7 – COMPARAÇÃO FOTO HDR SEM FLASH + ABERTURA VS HDR COM FLASH + FECHAMENTO



FONTE: O autor (2022).

### 3.3 EQUIPAMENTOS EMPREGADOS

São diversas as marcas e modelos de sensores a laser, cada escâner pensado para sua devida finalidade projetual e com suas respectivas vantagens e desvantagens. As diferenças mais relevantes estão na presença ou não dos sistemas de posicionamento GNSS e INS, na densidade de sua nuvem de pontos ou frequência de coleta, na acurácia nominal dos dados e no alcance das medidas, diretamente relacionado com a potência do laser.

O modelo de sensor laser empregado neste projeto foi o Leica BLK360, este equipamento valoriza economia e praticidade, portanto, não conta com sistemas adicionais de posicionamento, ou seja, cada estação de captura foi tomada em um sistema de coordenadas local materializado na instalação do equipamento. A Leica fabricante deste equipamento menciona em se tratar do menor e mais leve sensor laser disponível (figura 8). Na Tabela 1 estão enumeradas as especificações do BLK – 360.

FIGURA 8 – LASER SCANNER LEICA BLK360



FONTE: leica-geosystems.com (acesso em 04/2022).

TABELA 1 – INFORMAÇÕES DO SENSOR LASER

<b>Leica BLK360</b>	
Classe do laser	Classe 1 (IEC 60825-1:2014)
Comprimento de onda	830 nanômetros
Campo de visão	360° horizontais e 300° verticais
Alcance	60 centímetros à 60 metros
Taxa de medida de pontos	360 mil pontos por segundo
Acurácia do alcance	4 mm para medidas até 10 metros e 7 mm para medidas até 20 metros
Velocidade de medida	Menos de 3 minutos para escanear e fotografar
Acurácia dos pontos 3D	6 mm para medidas até 8 metros e 7 mm para medidas até 20 metros

FONTE: BLK360 specsheet (2017).

A ficha técnica do equipamento também indica que as informações referentes à acurácia são correspondentes a  $1\sigma$  ou 68,2% dos casos.

O equipamento ainda conta com um sistema de câmeras fotográficas para a captura *full dome* com campo de visão de 360° por 300° e, uma câmera termal FLIR com campo de visão de 360° por 70°. A integração dos dados de todos os sensores do equipamento resulta na nuvem de pontos texturizada.

### 3.4 PÓS PROCESSAMENTO

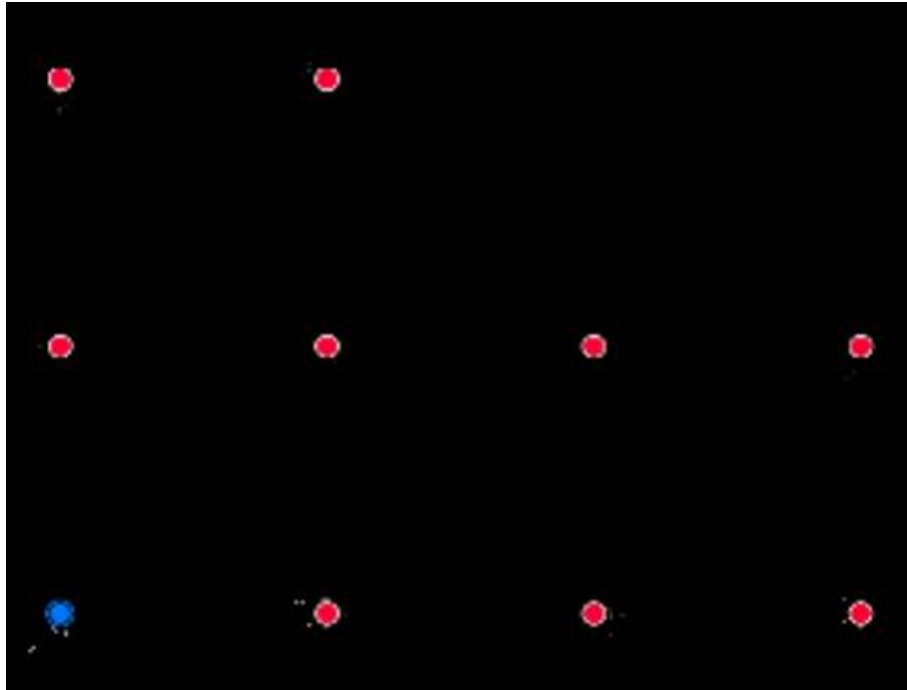
A etapa que sucedeu a execução do levantamento laser ocorreu no Laboratório de Geodésia Aplicada à Engenharia ou GEENG, localizado no anexo Professor João José Bigarella do Centro Politécnico da UFPR e, incluiu a transferência dos dados e o registro de todas as cenas até que houvesse apenas uma nuvem de pontos, num único referencial. Destaca-se que não foi empregado um referencial específico, como um referencial topográfico local ou geodésico, visto que o interesse é no espaço interno da área modelada e o estabelecimento de um referencial qualquer não iria alterar o processo de modelagem e a posição relativa entre os objetos modelados. A transferência de dados foi feita com uso da conexão Wi-Fi disponível no sensor laser, pela qual ele foi conectado ao computador do laboratório e, com auxílio do programa proprietário Leica BLK Data Manager, os dados brutos das nuvens de pontos em extensão BLK e as imagens panorâmicas em extensão JPG foram transferidos para o computador.

O pós-processamento incluiu o procedimento de registro das nuvens de pontos, justamente por causa da ausência de sistemas de posicionamento adicionais no equipamento e, como cada nuvem de pontos estava em um sistema de referência local distinto, foi necessário unir as nuvens de pontos através desse procedimento. O programa utilizado para o registro foi o Leica Cyclone Register 360, também disponível no laboratório GEENG, seu fluxo de trabalho segue as seguintes etapas:

- a) Importação dos dados brutos;
- b) Registro das nuvens de pontos e otimização;
- c) Finalização, exportação e relatório.

Na importação dos dados brutos, os arquivos BLK foram adicionados ao programa, cuja interface já os representava como nuvens de pontos dispostas sequencialmente em uma grade a qual pode ser observada na figura 9.

FIGURA 9 – GRADE DE REPRESENTAÇÃO DAS NUVENS DE PONTOS NO LEICA CYCLONE 360



FONTE: O autor (2022).

Na sequência, as nuvens foram unidas manualmente de duas em duas e, nesta etapa, quanto melhor for realizada a união entre as nuvens manualmente mais fácil será para o algoritmo de otimização<sup>1</sup> realizar a união total. Duas ferramentas de manipulação foram fundamentais para o registro, as ferramentas de translação e rotação, usadas para sobrepor as nuvens nas feições comuns.

No levantamento laser foram necessárias sete estações de captura, todavia, nem todas possuem sobreposição de feições e nem todos os links eram necessários para dar sequência, de forma que apenas sete *Bundles* foram suficientes para o registro de todas as estações, mas vale citar que era possível a inclusão de links a mais. Na figura 10 e quadro 2 são apresentados os links ou registros realizados e entre quais nuvens foram executados.

---

<sup>1</sup> O algoritmo de otimização citado não é aberto para edição ou visualização e o processamento feito através do mesmo não é transparente, apenas o resultado referente a acurácia final da junção.



FIGURA 10 – LINKS ENTRE NUVENS NO REGISTRO



FONTE: O autor (2022).

QUADRO 2 – DETALHES SOBRE OS LINKS DAS NUVENS

Link	Setup Nuvem A	Setup Nuvem B	Sobreposição (%)	Erro médio absoluto (mm)
1	456	455	82	4
2	457	456	81	4
3	457	455	75	4
4	458	457	63	2
5	459	458	85	2
6	460	459	52	2
7	461	460	83	2

FONTE: O autor (2022).

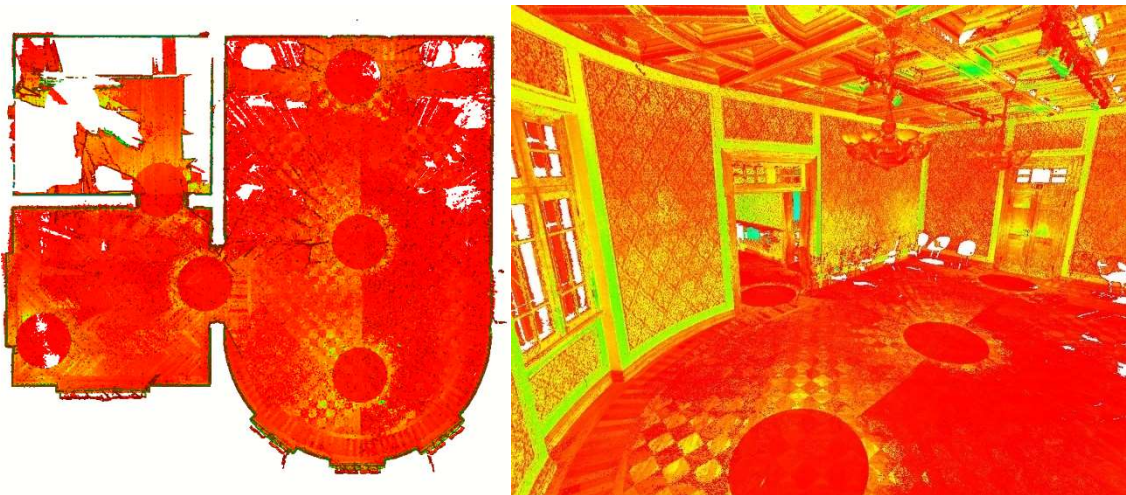
Ao fim do fluxo de trabalho de união das nuvens, foi executada a tarefa de exportação dos dados pós processados, sendo que o programa apresenta uma gama de opções de formatos de arquivo para a nuvem de pontos, dentre os quais foi optado pela extensão RCP (*ReCap Project*) compatível com os programas da Autodesk que foram utilizados na sequência e, junto da exportação da nuvem, ocorreu a impressão do relatório de resultados padronizado pelo programa, disponível no ANEXO 3. A nuvem de pontos final unificada é resultado da união dos *Bundles* obtidos no pareamento e, também gerado por algoritmo de otimização.

A nuvem de pontos obtida no registro das estações continha um total aproximado de 175.840.000 pontos, no entanto, entre estes havia pontos que não

seriam utilizados na modelagem, por exemplo o mobiliário e as feições capturadas através dos vidros das janelas, o que poderiam tornar o processo mais custoso computacionalmente. Portanto, a nuvem de pontos em formato RCP foi levada para o ambiente de edição do programa Autodesk ReCap, para a classificação e remoção dos pontos que não interessavam ao projeto, procedimentos este denominado de filtragem. Foram segmentadas cinco classes de pontos (figura 11):

- a) Elementos arquitetônicos (paredes, portas, janelas, piso, forro etc.);
- b) Mobiliário do auditório;
- c) Mobiliário do depósito;
- d) Piano;
- e) Não utilizáveis.

FIGURA 11 – NUVEM DE PONTOS CLASSIFICADA POR INTENSIDADE NO AUTODESK RECAP



FONTE: O autor (2022).

Após essa primeira classificação, foi realizada uma nova exportação da nuvem de pontos contendo somente a classe de interesse, que são os elementos arquitetônicos, para na sequência a proceder com a modelagem.

### 3.5 MODELAGEM ARQUITETÔNICA

A modelagem foi, dentre as etapas realizadas neste trabalho, uma das mais custosas em termos de tempo de projeto, tendo tomado aproximadamente 30 horas de desenvolvimento, pois envolveu a reconstituição digital, por abordagem individual

dos diversos elementos arquitetônicos presentes na nuvem de pontos unificada. Cada elemento foi modelado por um procedimento diferente dos demais, alguns impondo mais desafios e requerendo criatividade com as ferramentas disponíveis no programa utilizado e outros sendo obtidos de maneira automatizada. Os elementos foram novamente segmentados, agora em etapas e sub etapas, modeladas seguindo uma sequência lógica para manter a maior fidelidade geométrica possível com a nuvem de pontos, as etapas e sub etapas definidas foram as seguintes:

a) Paredes:

- Infraestrutura
- Perfil de rodapé

b) Piso:

- Infraestrutura
- Padrões

c) Teto:

- Forro
- Sancas

d) Portas e aberturas:

- Abertura
- Perfil de vista
- Estrutura

e) Janelas:

- Abertura
- Estrutura


O programa gráfico utilizado na modelagem foi o Autodesk Revit 2022, em razão de ser um ambiente com ferramentas para trabalhar com BIM, por permitir a segmentação dos elementos em famílias (análogo aos blocos do CAD) no formato RFA (*Revit Family*) e, por fazer parte do pacote Autodesk junto ao Recap, facilitando a comunicação com o formato RCP da nuvem de pontos. A licença do pacote foi fornecida para o projeto devido o acesso educacional cedido pela Autodesk à comunidade estudantil.

Inicialmente escolheu-se o modelo de projeto no Revit, sendo este o modelo arquitetônico métrico, em seguida foi feita a importação da nuvem de pontos no formato RCP<sup>2</sup>. Em função da origem do seu sistema de referência local métrico, a nuvem de pontos precisou de alguns ajustes visando facilitar as tarefas de modelagem futuras, foi transladada<sup>3</sup> tendo o piso como referencial para a cota de valor zero e, pensando na reconstituição de feições ortogonais, a nuvem foi rotacionada<sup>4</sup> para a posição em que as paredes laterais ficassem paralelas ao norte. Após tais procedimentos envolvendo o referencial, a nuvem de pontos foi fixada<sup>5</sup> ao projeto de modelagem principal, impedindo que ela sofresse deslocamentos e rotações acidentais nos procedimentos futuros.


FIGURA 12 – TRANSLAÇÃO E ROTAÇÃO DA NUVEM DE PONTOS NO AUTODESK REVIT

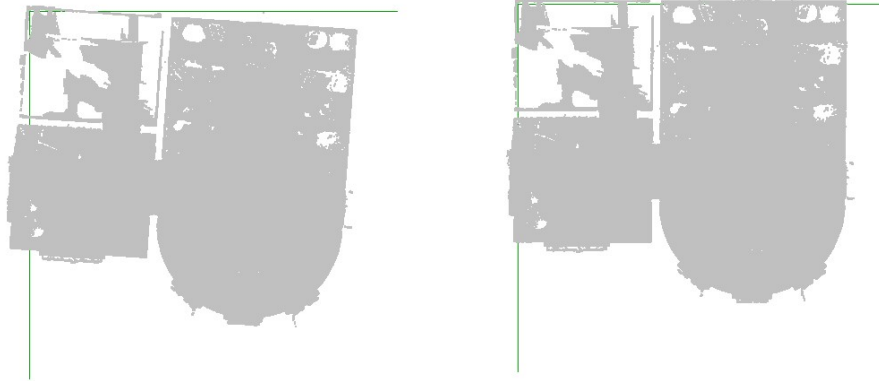


<sup>2</sup> Inserir → Nuvem de pontos .

<sup>3</sup> Modificar → Mover (MO) .

<sup>4</sup> Modificar → Rotacionar (RO) .

<sup>5</sup> Modificar → Fixar (PN) .



FONTE: O autor (2022).


QUADRO 3 – DESCRIÇÃO DOS PLANOS NIVELARES

Nível	Cota da base (mm)	Feições associadas
Planta de piso 1	0	Piso Paredes Rodapés Portas
Planta estrutural peitoril	965	Janelas
Planta de forro nível 1	4000	Forro Sancas Elementos de iluminação

FONTE: O autor (2022).

### 3.5.1 Paredes

Esta classe foi a primeira a ser modelada, pois ela serviu de referência estrutural para a locação das demais, além de ser a feição de mais fácil interpretação da nuvem de pontos e de envolver o processo mais automático. Inicialmente mediu-se a espessura das paredes exteriores e interiores das salas<sup>6</sup>, com valor obtido de 30 cm em ambos os casos. Na sequência, foram inseridos os eixos das paredes<sup>7</sup> (figura 13), e então configurou-se na aba de Arquitetura, a opção de locação de paredes por eixo das paredes<sup>8</sup>, apesar de haver disponível as opções para inserção por face interior e exterior.

<sup>6</sup> Medir entre duas referências .

<sup>7</sup> Arquitetura → Linha do modelo .


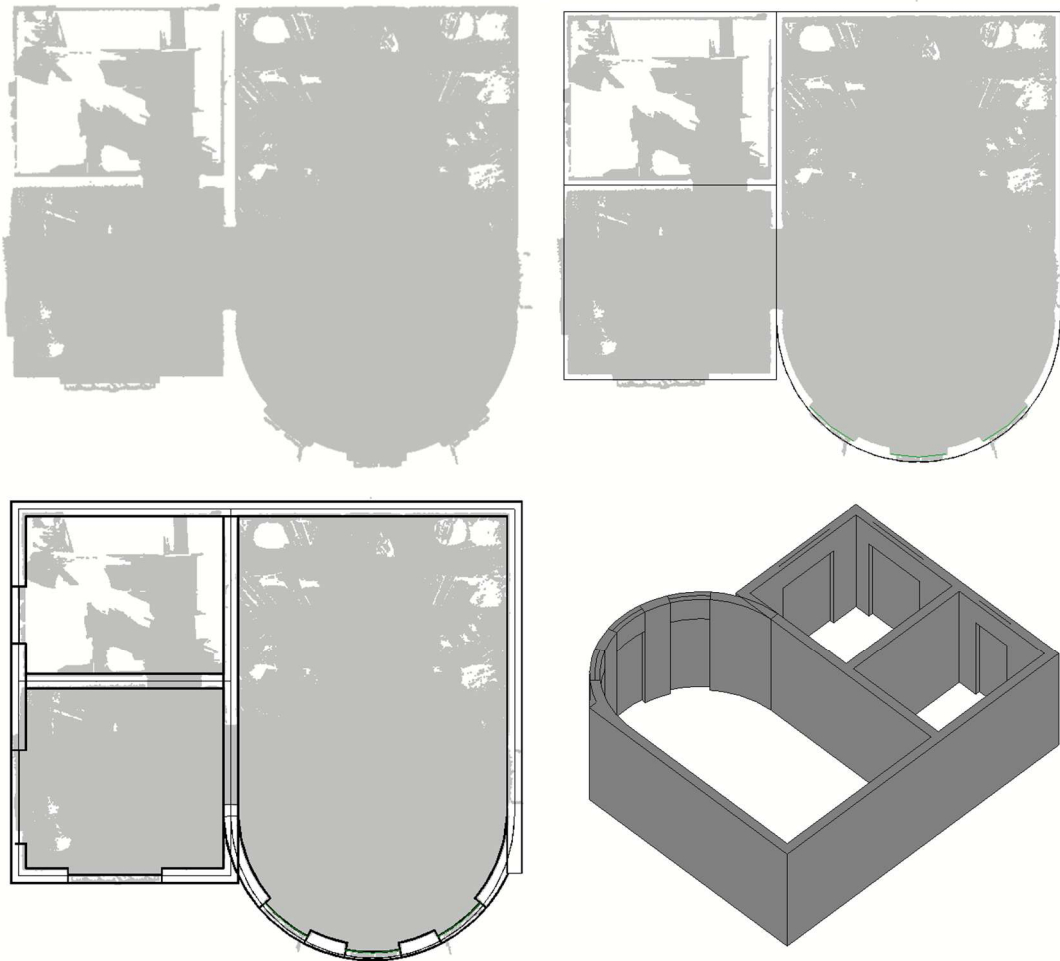
<sup>8</sup> Arquitetura → Parede: arquitetônica .

FIGURA 13 – INSERÇÃO DE PAREDES NO AUTODESK REVIT



FONTE: O autor (2022).

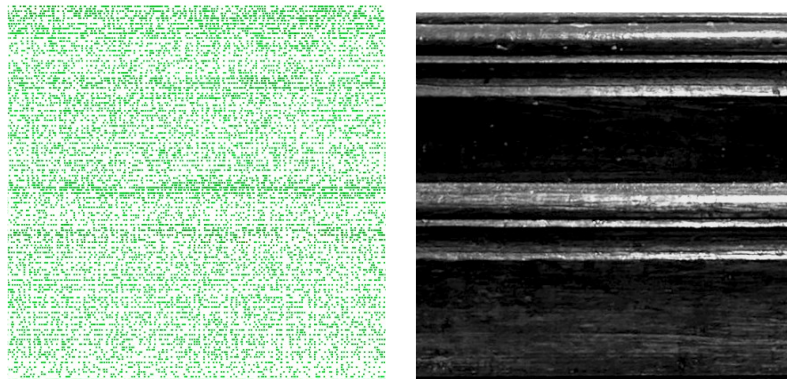
O procedimento seguinte foi a inserção dos rodapés às paredes já modeladas, mas para tal foi necessário a reconstrução do perfil em madeira. A reconstrução acabou por ser um desafio, ao depender de muita interpretação visual da nuvem de pontos, pois a densidade dela era suficiente para a identificação das medidas longitudinais e transversais, porém, as medidas das cavidades eram confusas, mesmo alterando a classificação da nuvem para soluções como a altitude e intensidade, muito em função da homogeneidade do material. Portanto, a alternativa adotada foi de trabalhar com as fotografias registradas no levantamento, junto aos programas GIMP<sup>9</sup> e Autodesk AutoCAD<sup>10</sup>, o primeiro para corrigir a

---

<sup>9</sup> Ferramentas de Perspectiva  e Corte .

distorção da fotografia tomada de maneira oblíqua ao objeto e, o segundo para auxiliar a criação do perfil e posterior exportação em formato DXF (*Drawing Exchange Format*), compatível com a interface de criação de famílias do Revit, procurando manter a maior fidelidade gráfica e geométrica do objeto. O modelo de família do Revit usado na criação do perfil se tratou do *English Metric Profile*, no entanto, após a importação do DXF o arquivo foi salvo novamente no formato RFA e carregado ao projeto da modelagem principal<sup>11</sup>. Para inserir o perfil de rodapé às paredes já criadas, o tipo de parede utilizado (Parede Básica Genérica – 300mm), foi duplicado e junto ao editor de tipos, nas suas propriedades, havia a opção de alterar a estrutura vertical inserindo uma extrusão por percurso com algum perfil carregado ao projeto, assim todas as paredes daquele tipo passaram a ter um rodapé com o perfil selecionado. As figuras 14 e 15 mostram o processo de reconstrução dos rodapés.

FIGURA 14 – INTERPRETAÇÃO DAS CAVIDADES NUVEM DE PONTOS VS FOTOGRAFIA



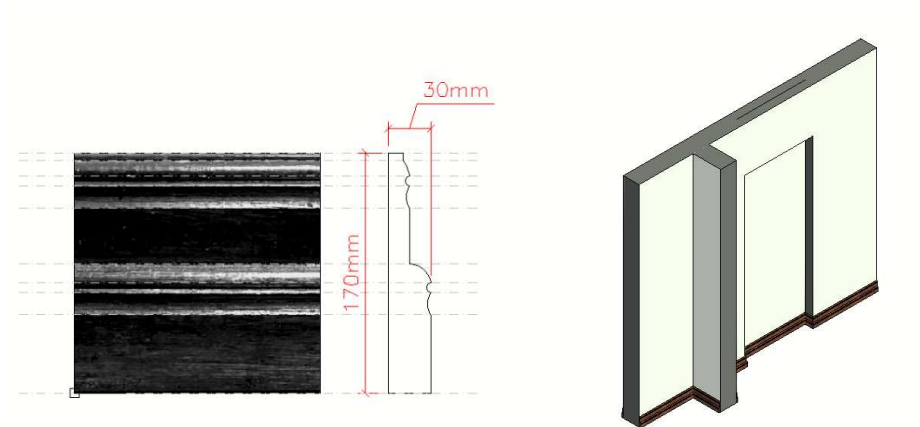
FONTE: O autor (2022).

---

<sup>10</sup> Ferramentas de Referência , Escala  e Poli linha .

<sup>11</sup> Criar → Carregar no Projeto .

FIGURA 15 – RECONSTRUÇÃO DO PERFIL DE RODAPÉ



FONTE: O autor (2022).

### 3.5.2 Piso

Na sequência prosseguiu-se a reconstrução dos pisos utilizando a ferramenta da aba Arquitetura referente ao mesmo<sup>12</sup>, entre as opções de inserção havia a utilização das paredes como referência e o desenho individual dos limites, ambas as opções foram utilizadas, pois através do uso das paredes apenas um piso total é criado no interior do ambiente, no entanto, cada espaço do projeto continha um piso específico e detalhes adicionais como por exemplo a soleira nas portas entre os ambientes, tornando necessário a individualização dos elementos na reconstrução. A figura 16 ilustra os diferentes tipos de pisos nos ambientes a serem modelados.

---


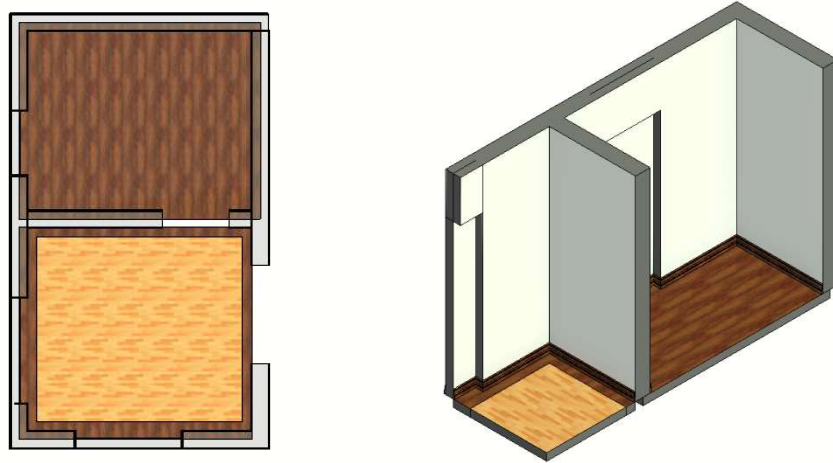
<sup>12</sup> Arquitetura → Piso: arquitetônico .



FIGURA 16 – INSERÇÃO DE DIFERENTES ELEMENTOS DE PISO





FONTE: O autor (2022).

### 3.5.3 Teto

Os tetos dos ambientes levantados contam com dois níveis de estrutura, os forros e as sancas, portanto, a reconstrução dele incluiu a modelagem nessas duas sub etapas distintas. A primeira sub etapa sendo análoga à inserção de piso, pois no Revit há uma ferramenta específica para o forro<sup>13</sup>.

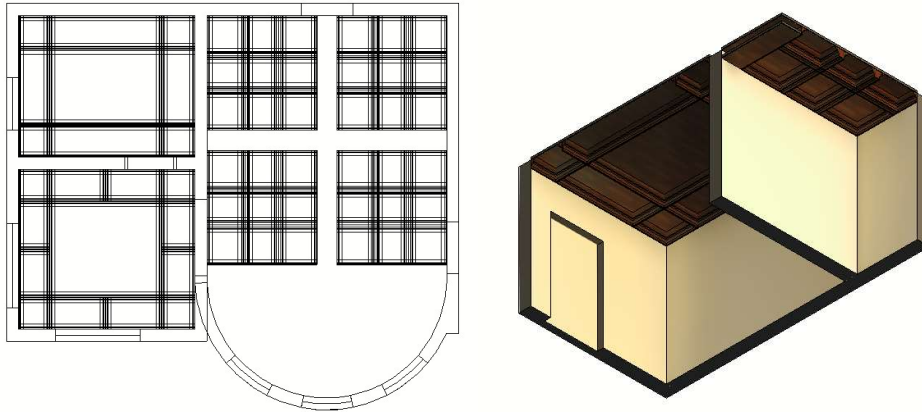
A sub etapa seguinte tratou da modelagem das sancas de madeira, os procedimentos envolveram a reconstrução do perfil de sanca, a indicação da grade modular e, no caso das sancas em curva, a criação manual dos módulos. A reconstituição do perfil seguiu procedimento similar ao empregado para a reconstrução do perfil de rodapé, pois nessa região a interpretação visual da nuvem de pontos também não foi julgada confiável para a extração de medidas. Após obter o perfil, ele foi carregado ao projeto da modelagem principal e configurado como Montante Retangular no espaço de Montantes de Parede Cortina do Navegador de Projeto, pois tratando dos locais em que a sanca segue comportamento ortogonal foi possível aplicar uma metodologia parcialmente automatizada, para isto foi necessário a criação de um telhado<sup>14</sup> do tipo Vidraça Inclínada, um tipo usado para

<sup>13</sup> Arquitetura →Forro .

<sup>14</sup> Arquitetura →Telhado por perímetro .

modelagem de claraboias, mas, que permitiu parametrizações suficientes para recriar a grade modular destas sancas (figura 17).

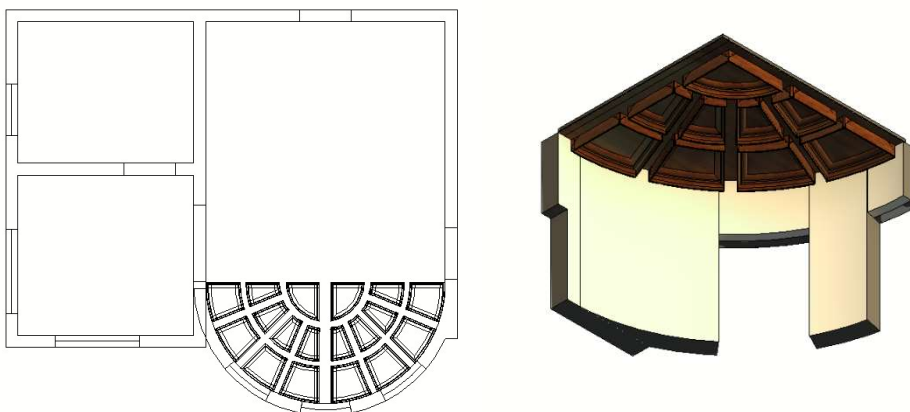
FIGURA 17 – INSERÇÃO DAS SANCAS POR GRADE MODULAR SEMI AUTOMÁTICO



FONTE: O autor (2022).

Enquanto os módulos das sancas próximos a parede curva do auditório tiveram de ser recriados manualmente, pela mesma metodologia que as demais, porém sem opções de parametrizações suficientes para automatizar a grade, portanto, tendo de ser desenhada individualmente antes de executar a ferramenta (figura 18).

FIGURA 18 – INSERÇÃO DAS SANCAS POR GRADE MODULAR DESENHADO MANUALMENTE



FONTE: O autor (2022).

### 3.5.4 Portas e aberturas

Em seguida, os acessos para e entre ambientes foram modelados em forma de famílias do Revit, o processo de reconstrução do perfil de vista também foi análogo ao empregado nos perfis de rodapé e sanca do teto e, serviu de forma universal para todas as portas e aberturas, enquanto a estrutura de cada porta teve de ser modelada individualmente em uma família separada, resultando nas famílias:

- a) Auditório: porta lateral;
- b) Auditório: porta dos fundos;
- c) Abertura: auditório – sala do piano;
- d) Abertura: sala do piano – depósito.

As famílias que apresentam maiores diferenças são referentes às portas, pois as aberturas seguem a mesma padronização com o perfil das demais, porém diferem em dimensão e em não ter a estrutura da porta. Após a criação do perfil como família padrão *English Metric Profile* (modelo idêntico aos perfis de rodapé e sanca), este foi carregado ao projeto de família de cada porta ou abertura e, inserido por varredura no contorno da abertura<sup>15</sup>, que criou automaticamente a extrusão do perfil em todo o percurso do contorno. Os demais elementos foram criados de forma manual, e incluíram as estruturas das portas, os vidros e, os elementos acessórios por exemplo as maçanetas, todos criados através da utilização das ferramentas de modelagem de formas tridimensionais disponíveis no editor de famílias<sup>16</sup> e, orientados pelas medidas extraídas da nuvem de pontos nos objetos. A figura 19 mostra o processo de modelagem da porta lateral do auditório, a nuvem de pontos a esquerda, a modelagem ao centro e a inserção na parede no lado direito, a figura 20 o mesmo procedimento para a porta dos fundos do auditório.

---

<sup>15</sup> Criar → Varredura .



<sup>16</sup> Criar → Extrusão , Formas de vazio .

FIGURA 19 – MODELAGEM DA PORTA LATERAL DO AUDITÓRIO



FONTE: O autor (2022).

FIGURA 20 – MODELAGEM DA PORTA DOS FUNDOS DO AUDITÓRIO



FONTE: O autor (2022).

### 3.5.5 Janelas

Por último, foram realizadas as modelagens dos dois padrões de janelas presentes no levantamento, sendo o primeiro utilizado três vezes no ambiente do auditório e o segundo apenas uma vez na sala do piano, enquanto o ambiente de depósito não contém nenhuma janela. A reconstrução de ambos os padrões foi realizada por procedimentos manuais, da mesma forma que os demais elementos das portas que não os perfis delas e, igualmente orientados por medidas feitas na

nuvem de pontos visando garantir a fidelidade gráfica e geométrica dos objetos de estudo. A figura 21 ilustra os processos de modelagem das três janelas do auditório. Na sequência a nuvem de pontos à esquerda, a modelagem ao centro e a inserção na parede no lado direito.

FIGURA 21 – MODELAGEM DO PADRÃO DE JANELA DO AUDITÓRIO




FONTE: O autor (2022).

### 3.6 GERAÇÃO DE PRODUTO RENDERIZADO EM ALTA DEFINIÇÃO

A etapa final do projeto foi focada na obtenção dos produtos gráficos de alta definição dispostos no capítulo seguinte. Em razão da limitação do conjunto básico de ferramentas de renderização disponíveis no programa Autodesk Revit, o modelo foi exportado em formato DWG (*Drawing*) e importado para outro ambiente de modelagem, o Trimble Sketchup PRO, pois este contava com a extensão Chaos V-ray for Sketchup, ambas cópias legais do autor. Cabe salientar que existe uma versão dessa extensão para o Revit, no entanto, devendo ser adquirida separadamente e não fazendo parte da licença educacional cedida pela Autodesk.

Para exportar o DWG do Revit, foi necessário acessar a visualização 3D<sup>17</sup> do modelo e, em configuração de exportação, na aba sólido, foi selecionado o método poli malha. O arquivo DWG foi importado para a interface do Sketchup,

<sup>17</sup> Vista 3D padrão .

utilizando a configuração para unir faces coplanares<sup>18</sup>, o programa automaticamente segmentou as feições em camadas, se baseando nos elementos criados no Revit, por exemplo A-WALL (paredes), A-DOOR (porta), A-GLAZ (janelas) e etc., que se mostraram eficientes e foram utilizadas sem muitas interferências. Na sequência foram criados e aplicados materiais genéricos, para diferenciação das superfícies evidentes na figura 22.

FIGURA 22 – APLICAÇÃO DE MATERIAIS GENÉRICOS NO SKETCHUP



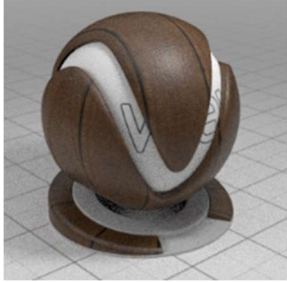
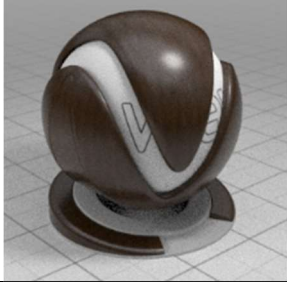
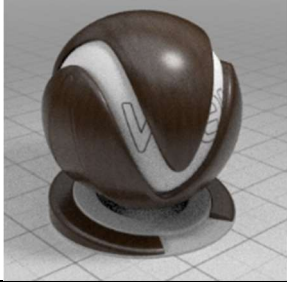



FONTE: O autor (2022).

Os materiais criados, foram base para a posterior configuração de texturas e parametrização dos argumentos configurados na extensão V-ray, responsável pela renderização dos produtos. No QUADRO 4, observa-se os materiais e parâmetros inseridos.

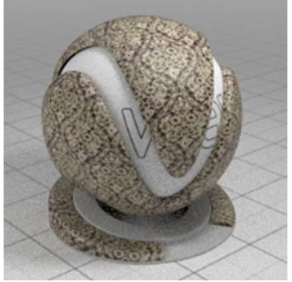
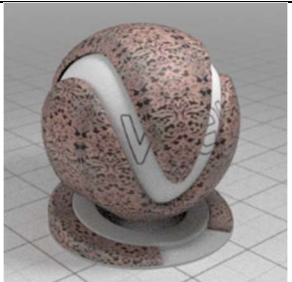



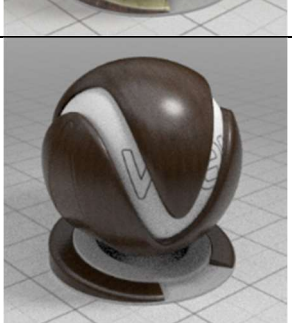
---

<sup>18</sup> Essa configuração foi executada na janela de seleção de arquivo, botão Opções.


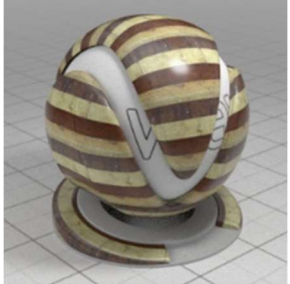
QUADRO 4 – MATERIAIS E PARÂMETROS DE RENDERIZAÇÃO

<b>Material</b>	<b>Textura</b>	<b>Reflexão: Brilho</b>	<b>Ressalto: Quantidade</b>
Forro – Sala do piano e depósito		0,600	1,000
Forro – Auditório e Sancas		0,600	-
Madeira – Portas, Janelas e rodapé		0,750	0,006
Vidro incolor		1,000	-
Trinco de bronze		0,700	-
Tinta paredes		0,600	-



Pintura artesanal – Auditório		0,550	-
Pintura artesanal – Sala do piano		0,550	-
Piso 1 – Auditório		0,830	0,004
Piso 2 – Auditório		0,800	0,015
Piso 3 – Sala do piano		0,800	0,015
Piso 4 – Sala do piano		0,750	0,006



Piso 5 – Depósito		0,830	0,008
Soleira		0,800	0,015

FONTE: O autor (2022).

É importante ressaltar que o procedimento de configuração de materiais se tratou de diversos ensaios práticos, pois não existe uma configuração correta apenas a que melhor corresponde à máxima fidelidade gráfica com o ambiente original, sendo definida pelo responsável pela modelagem, em função do seu conhecimento do local modelado. Outra observação é de que alguns materiais utilizados vieram da biblioteca padrão do V-ray, sendo estes configurados para simular os materiais do ambiente original, enquanto outros materiais foram obtidos do registro fotográfico no levantamento e manipulados através do programa GIMP<sup>19</sup> para servir de textura na configuração de um novo material personalizado. A figura 23 representa à esquerda a imagem tomada do piso do auditório no levantamento fotográfico de apoio, enquanto à direita está representado o padrão de piso editado para posterior configuração como material.

---

<sup>19</sup> Procedimento análogo ao empregado na correção por tomada oblíqua das imagens na reconstrução do perfil de rodapé.

FIGURA 23 – EDIÇÃO DA FOTOGRAFIA PARA CRIAÇÃO DO MATERIAL DE PISO DO AUDITÓRIO



FONTE: O autor (2022).

Referente a utilização de objetos do mobiliário do Museu, todos os objetos utilizados são blocos genéricos e não correspondem a modelagem do objeto original disposto no ambiente atualmente, pois estes não eram o foco do trabalho.

Por fim, no V-ray, foram feitas algumas configurações de parâmetros para as renderizações propostas na geração de produtos, são elas:

a) Imagens planas:

- Render:
  - i. Amostragem progressiva: desligado
  - ii. Qualidade: high
  - iii. Redução de ruído: ativado
- Câmera:
  - i. Tipo: Padrão
  - ii. Valor de exposição: 14
- Saída:
  - i. Resolução: 1920x1080
- Ambiente:
  - i. Plano de fundo: mapa HDR predefinido
    - 1. Valor: 230
- Iluminação global:
  - i. Raios primários: mapa de irradiância
- Redução de ruído:

- i. Predefinição: suave
- b) Imagens panorâmicas:
  - Render:
    - i. Amostragem progressiva: desligado
    - ii. Qualidade: high
    - iii. Redução de ruído: ativado
  - Câmera:
    - i. Tipo: Panorâmica esférica VR
    - ii. Valor de exposição: 12
  - Saída:
    - i. Resolução: 8000x4000
  - Ambiente:
    - i. Plano de fundo: mapa HDR predefinido
      - 1. Valor: 230
  - Iluminação global:
    - i. Raios primários: mapa de irradiância
  - Redução de ruído:
    - i. Predefinição: suave

## 4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 NUVEM DE PONTOS PÓS PROCESSADA

O primeiro dos produtos proporcionados neste trabalho se trata da nuvem de pontos pós processada, pois após o registro das estações tem-se como resultado uma nuvem de pontos total em um referencial único. A figura 24 representa o recorte do auditório da nuvem de pontos total, apresentada respectivamente por seus valores de intensidade e RGB.

FIGURA 24 – RECORTE DO AUDITÓRIO NA NUVEM DE PONTOS TOTAL: VISTA ANTERIOR

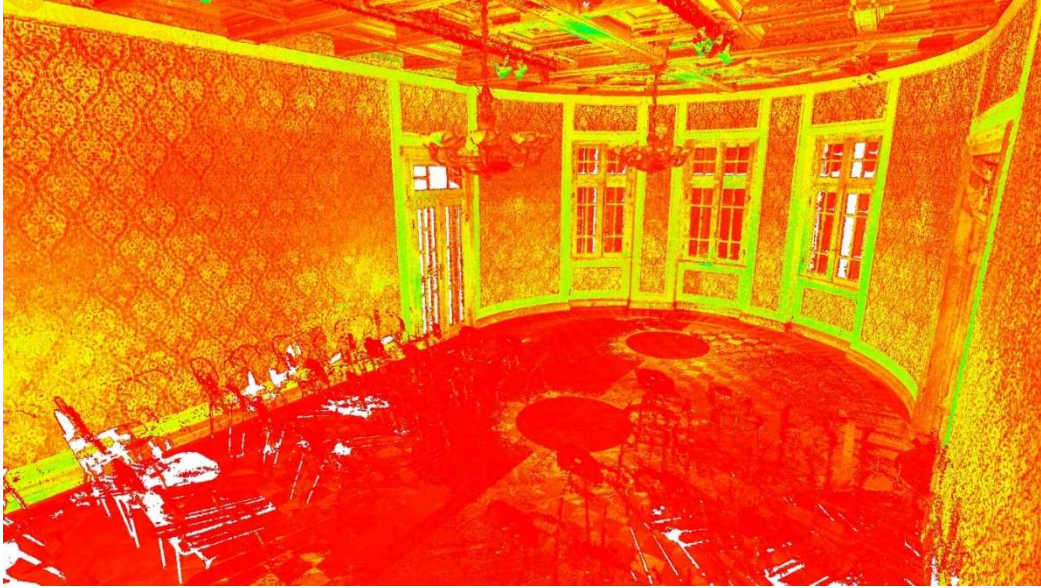


FONTE:O autor (2022).



Analogamente à figura anterior, a figura 25 representa outra perspectiva do auditório recortado da nuvem total. Das figuras 24 e 25 pode-se destacar a presença de vazios em branco que indicam os locais de oclusão ocasionados pelos assentos dispostos no auditório.

FIGURA 25 – RECORTE DO AUDITÓRIO NA NUVEM DE PONTOS TOTAL: VISTA POSTERIOR



FONTE:O autor (2022).



Na sequência, a figura 26 representa o recorte da sala do piano da nuvem de pontos total.

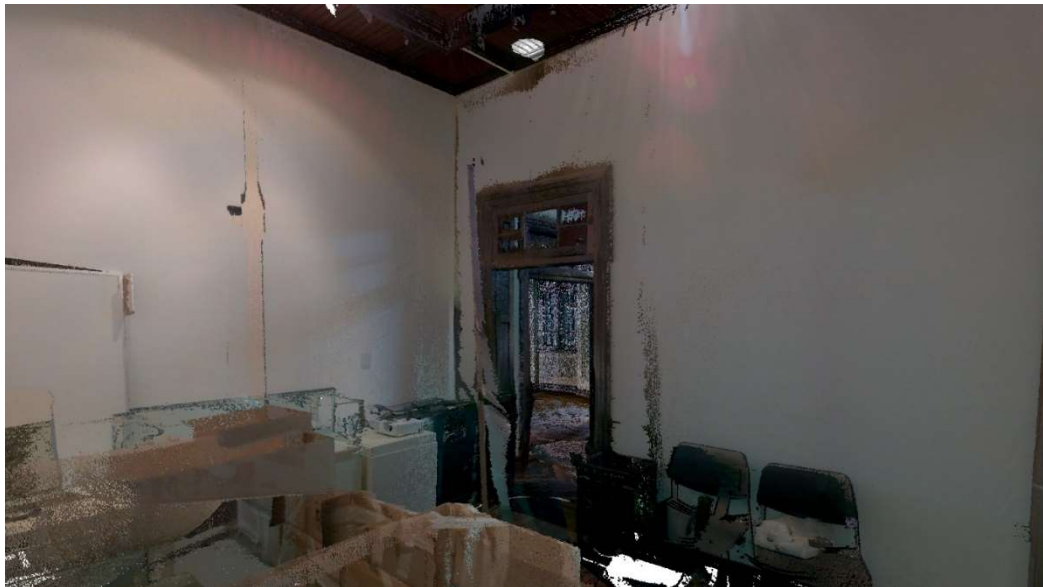
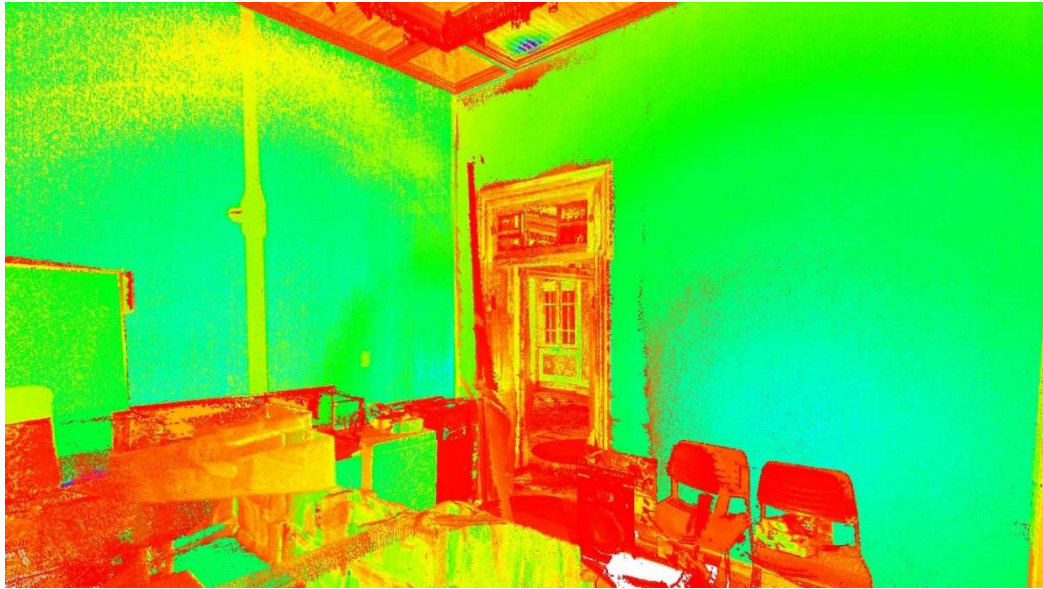
FIGURA 26 – RECORTE DA SALA DO PIANO NA NUVEM DE PONTOS TOTAL



FONTE:O autor (2022).

Por último, a figura 27 representa o recorte do depósito da nuvem de pontos final.

FIGURA 27 – RECORTE DO DEPÓSITO DA NUVEM DE PONTOS FINAL



FONTE:O autor (2022).

## 4.2 IMAGENS RENDERIZADAS EM ALTA DEFINIÇÃO

### 4.2.1 Imagens renderizadas sem aplicação de materiais

As figuras a seguir (Fig. 28, Fig. 29 e Fig. 30) são resultados da renderização seguindo as mesmas configurações dos demais produtos, no entanto, sem inserção de materiais nos objetos e sem inserção de iluminação artificial, a finalidade desses produtos é de evidenciar o nível de detalhe atingido na modelagem em si.

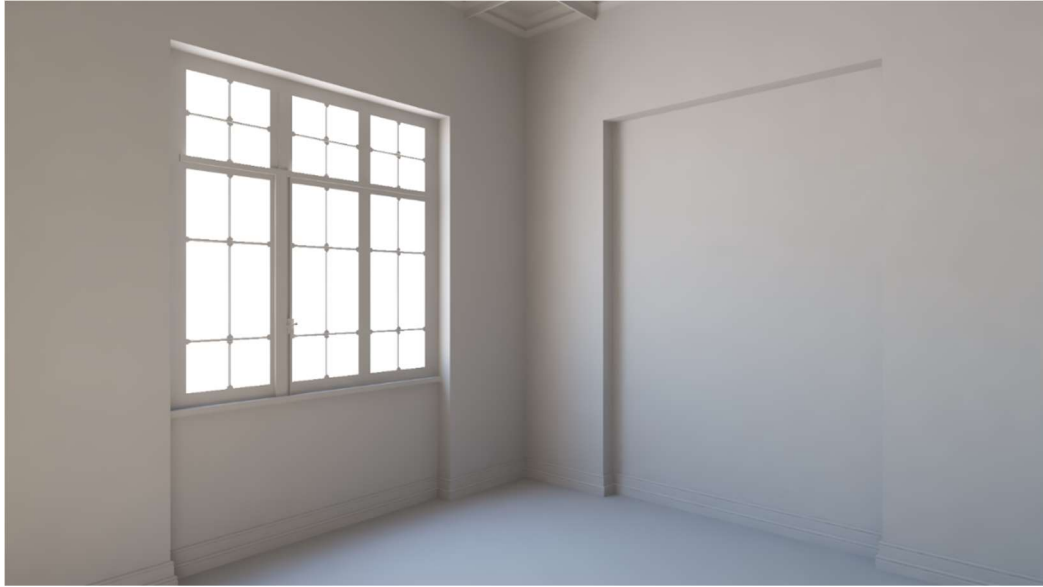
FIGURA 28 – RENDER DO AUDITÓRIO: MODELAGEM SEM APLICAÇÃO DE MATERIAIS



FONTE:O autor (2022).



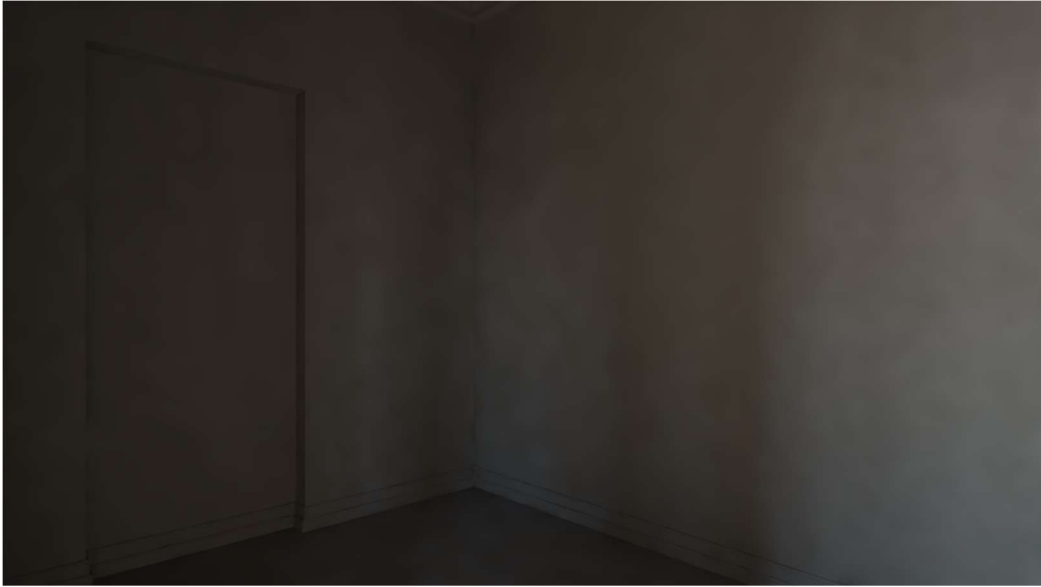
FIGURA 29 – RENDER DA SALA DO PIANO: MODELAGEM SEM APLICAÇÃO DE MATERIAIS



FONTE:O autor (2022).

O tempo de execução desta etapa de renderização foi de 5 horas, tempo reduzido em função de se tratar de uma modelagem sem aplicação dos materiais.

FIGURA 30 – RENDER DO DEPÓSITO: MODELAGEM SEM APLICAÇÃO DE MATERIAIS



FONTE:O autor (2022).

#### 4.2.2 Imagens renderizadas com aplicação de materiais e sem mobiliário

As figuras de 31 a 33 são, resultados obtidos para o auditório, a sala de piano e o depósito, respectivamente, renderizados após a aplicação dos materiais descrita no capítulo 3.6.

FIGURA 31 – RENDER DO AUDITÓRIO: MODELAGEM COM APLICAÇÃO DE MATERIAIS



FONTE:O autor (2022).

FIGURA 32 – RENDER DA SALA DO PIANO: MODELAGEM COM APLICAÇÃO DE MATERIAIS



FONTE:O autor (2022).



FIGURA 33 – RENDER DO DEPÓSITO: MODELAGEM COM APLICAÇÃO DE MATERIAIS



FONTE:O autor (2022).

O tempo de execução desta tarefa de renderização foi de 15 horas, três vezes superior a renderização sem aplicação de materiais, o que indica a interferência das interações da iluminação artificial com os objetos e seus materiais.

#### 4.2.3 Imagens renderizadas com aplicação de materiais e com mobiliário

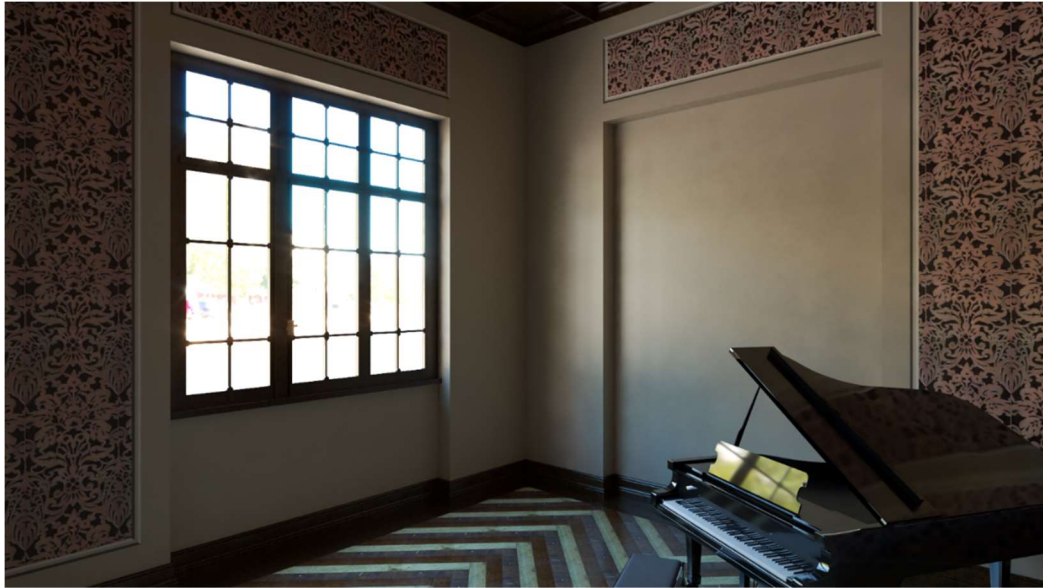
As figuras 34 e 35 apresentam a mesma configuração de materiais e iluminação que seus correspondentes do capítulo anterior, no entanto, incluem o mobiliário nas condições atuais do Museu.

FIGURA 34 – RENDER DO AUDITÓRIO: MODELAGEM COM APLICAÇÃO DE MATERIAIS E MOBILIÁRIO



FONTE:O autor (2022).

FIGURA 35 – RENDER DA SALA DO PIANO: MODELAGEM COM APLICAÇÃO DE MATERIAIS E MOBILIÁRIO



FONTE:O autor (2022).

O tempo de execução da renderização das imagens foi de 19 horas, superior às imagens representadas nas figuras de 31 a 33, justificadas pela inclusão de mais elementos para interagir com a iluminação. Enquanto o tempo de renderização da imagem panorâmica (anexo 1) foi de 26 horas.



#### 4.2.4 Imagens renderizadas com aplicação de materiais simulando interferências

As figuras 36 e 37 apresentam uma proposta de utilização da modelagem para a simulação de interferência arquitetônicas, por exemplo repintura da parede, e simulação de exposição de objetos do acervo.

FIGURA 36 – RENDER DO AUDITÓRIO: MODELAGEM DE SIMULAÇÃO DE EXPOSIÇÃO



FONTE:O autor (2022).<sup>20</sup>

---

<sup>20</sup> O objeto utilizado na simulação foi modelado pela bacharelada Letícia B. de Lara.



FIGURA 37 – RENDER DO AUDITÓRIO: MODELAGEM DE SIMULAÇÃO DE EXPOSIÇÃO



FONTE:O autor (2022).<sup>21</sup>

O tempo de renderização desta etapa foi de 15 horas, pois apesar de se tratar apenas do auditório, houve a inserção de novos materiais e iluminação para compor a simulação. O tempo de renderização da imagem panorâmica (anexo 1) foi de 8 horas.

---

<sup>21</sup> O objeto utilizado na simulação foi modelado pela bacharelada Letícia B. de Lara.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A nuvem de pontos, produto do levantamento TLS, foi uma valiosa fonte de informação para a interpretação de dados métricos e gráficos para a reconstituição digital mais fidedigna no tempo hábil do projeto. Os mais de 176 milhões de pontos obtidos em um levantamento de 20 minutos, já são significativos para provar o valor da técnica, sem considerar a acurácia nominal de 6 mm e a gama de opções que as câmeras proporcionaram, principalmente em relação à interpretação dos materiais empregados.

Outro fator surpreendente foi o fato de os programas utilizados, inclusive o de edição gráfica, estarem otimizados ao nível de não exigirem um computador de alta performance para trabalhar com tamanho volume de dados, com exceção da tarefa de renderização, que demandou um conjunto de atributos computacionais significativamente superior.

Por fim, através dos produtos da renderização foi possível evidenciar o proposto para o projeto, o valor da orientação da nuvem de pontos na modelagem arquitetônica do Museu, permitindo desde uma clara visualização dos elementos empregados atualmente até a simulação de interferências estruturais, mobiliárias e de acervo, no caso de uma exposição.

### 5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Dar continuidade na modelagem das demais disciplinas projetuais, que não a arquitetônica, por exemplo, a modelagem elétrica e luminotécnica;
- Seguir ao próximo nível de desenvolvimento de um HBIM, com a modelagem da documentação e atributos do modelo já existente;
- Orientar o modelo no espaço geográfico, em sistema de coordenadas que não o local, para subsidiar ou compor uma reconstituição outdoor;
- Verificar comparativamente outros métodos de geração de nuvens de pontos, como os propostos por metodologias fotogramétricas, por exemplo, structure from motion (SFM);

- Verificar comparativamente a eficácia de outros métodos de operação do sensor, neste projeto todas as estações foram levantadas na configuração de máxima densidade, metodologia que pode ser verificada pela utilização das configurações de baixa e média densidade aliadas ao planejamento de um maior número de estações;
- No caso de outro projeto que envolva a mesma metodologia, estar preparado para executar, junto ao levantamento TLS, um bom levantamento fotográfico para orientar possíveis dificuldades de interpretação da nuvem de pontos.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14645-1**: Elaboração do “como construído” (as built) para edificações. Rio de Janeiro, 2000.
- AUSTRALIAN/ NEW ZEALAND STANDARD. **AS/NZS IEC 60825.1:2014**: Safety of laser products. Austrália, 2014.
- CONTO, G. L. **Aplicação de técnicas de captura da realidade: estudo de caso da modelagem tridimensional do largo da ordem por meio de diferentes técnicas de levantamentos**. 76 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2021.
- CURITIBA. **Lei nº 15.511, de 05 de agosto de 2020**. Dispõe sobre o zoneamento, uso e ocupação do solo no Município de Curitiba e dá outras providências. Legislação Municipal de Curitiba, Paraná, 5 agosto 2020. Disponível em: <https://mid.curitiba.pr.gov.br/2020/00304472.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2022.
- D'ANGELIS, T. S. R.; NASCENTES, M. C. C. O setor histórico de Curitiba na construção da imagem da “cidade-modelo” de Curitiba. In: XVII ENANPUR, 2017, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2017.
- EXPORTAR Revit para Sketchup. Disponível em: <https://qualificad.com.br/exportar-revit-para-sketchup/>. Acesso em: 23 abr. 2022.
- JUNG, J.; HONG, S.; JEONG, S.; KIM, S.; CHO, H.; HONG, S.; HEO, J. Productive modeling for development of as-built BIM of existing indoor structures. **Automation in Construction**, v. 42, p. 68-77, mar. 2014.
- LEICA BLK. How to create a 3d revit model from a laser scan (full length tutorial). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=hx6BK3sRLrk>. Acesso em: 23 abr. 2022.
- MURPHY, M.; MCGOVERN, E.; PAVIA, S. Historic Building Information Modelling – Adding intelligence to laser and image-based surveys of European classical architecture. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 76, p. 89-102, Jan. 2013.
- MURPHY, M.; MCGOVERN, E.; PAVIA, S. Historic Building Information Modelling (HBIM). **Structural Survey**, v. 27, p. 311-327, 2009.
- PĂTRĂUCEAN, V.; ARMENI, I.; NAHANGI, M.; YEUNG, J.; BRILAKIS, I.; HAAS, C. State of research in automatic as-built modelling. **Advanced Engineering Informatics**, v. 29, p. 162-171, Fev. 2015.
- RUZA, M.; CORTE, A.; ANGELO, A.; SANQUETTA, C.; PESCK, V. Terrestrial laser scanner for metric extraction in eucalyptus under different implantation systems. **Floresta**, v. 51, p. 512-520, abr./jun. 2021.

SANCHEZ, J.; DENIS, F.; CHECCHIN, P.; DUPONT, F.; TRASSOUDAIN, L. Global registration of 3d lidar point clouds based on scene features: application to structured environments. **Remote sensing**, 2017.

SILVA, A. P. R.; AYABE, E. M. **Aplicação da metodologia hbim na documentação arquitetônica do museu paranaense a partir dos levantamentos com laser scanner terrestre (lst) e plataformas vant.** 78 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

TZEDAKI, V.; KAMARA, J. M. Capturing as-built information for a bim environment using 3d laser scanner: a process model. In: Architectural Engineering Conference, 2013, Pensilvânia. **Anais...Pensilvânia**, 2013. VOSSSELMAN, G.; MAAS, H. **Airborne and Terrestrial Laser Scanning.** Caithness: Whittles, 2010.

## ANEXO 1 – LINK PARA O VISUALIZADOR

MUPA – VISUALIZAÇÃO DOS PRODUTOS RENDERIZADOS EM ALTA DEFINIÇÃO. Disponível em: [https://ufprbr0-](https://ufprbr0-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/leonardo_camargo_ufpr_br/Eq5jyNLzRQVNqPc_zDhkG-YBvmfNIRDOzpvP98ABtp4JsA?e=0pgFfg)

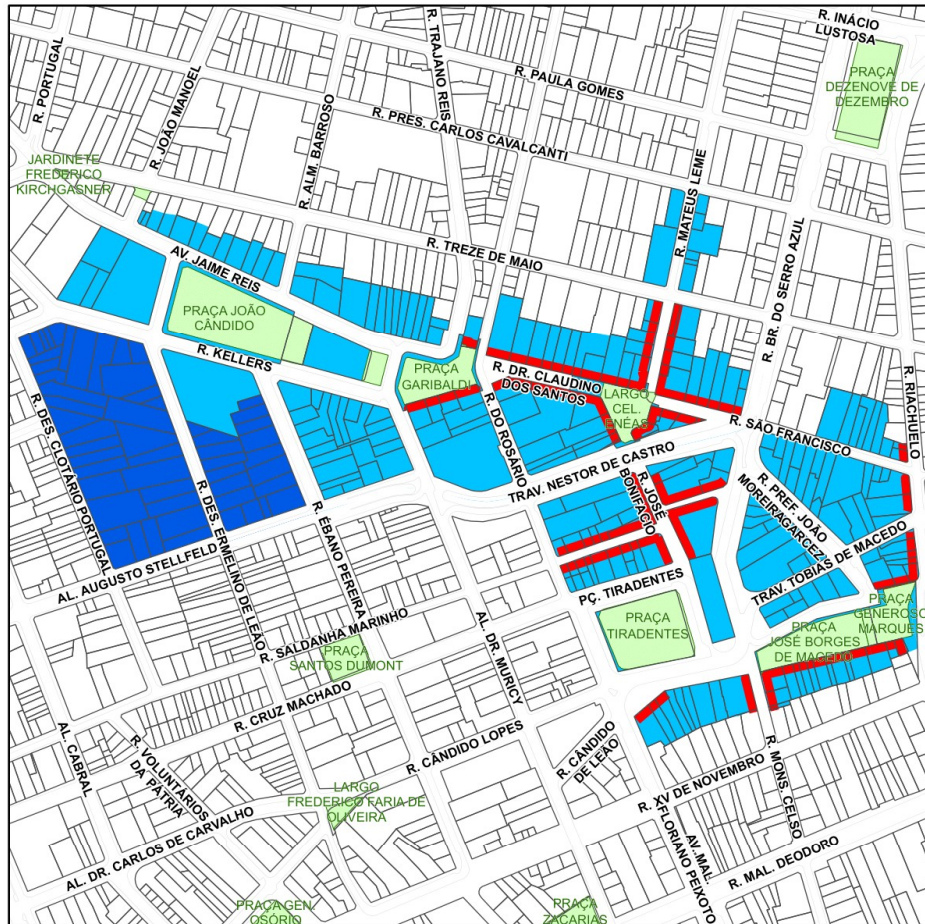
[my.sharepoint.com/:f:/g/personal/leonardo\\_camargo\\_ufpr\\_br/Eq5jyNLzRQVNqPc\\_zDhkG-YBvmfNIRDOzpvP98ABtp4JsA?e=0pgFfg](https://ufprbr0-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/leonardo_camargo_ufpr_br/Eq5jyNLzRQVNqPc_zDhkG-YBvmfNIRDOzpvP98ABtp4JsA?e=0pgFfg).

MUPA – VISUALIZAÇÃO PANORÂMICA DO AUDITÓRIO E SALAS. Disponível em: <https://www.theasys.io/viewer/wmmFKlwSbZptWII30U6EJZUARznZy2/>.

MUPA – VISUALIZAÇÃO PANORÂMICA SIMULAÇÃO DE EXPOSIÇÃO NO AUDITÓRIO. Disponível em: <https://www.theasys.io/viewer/j2e7lcqlyOHBRkiypBk6453ov0zUkg/>.

ANEXO 2 – ZONA HISTÓRICA – ZH

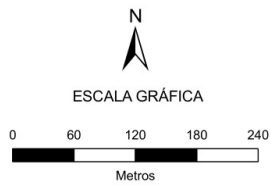
ZONA HISTÓRICA - ZH



**LEGENDA**

ZONA HISTÓRICA


- ZONA HISTÓRICA 1 - ZH-1
- ZONA HISTÓRICA 2 - ZH-2
- SETOR PREFERENCIAL DE PEDESTRES
- LOTES
- PRAÇAS E JARDINETES



FONTE: IPPUC (2019).

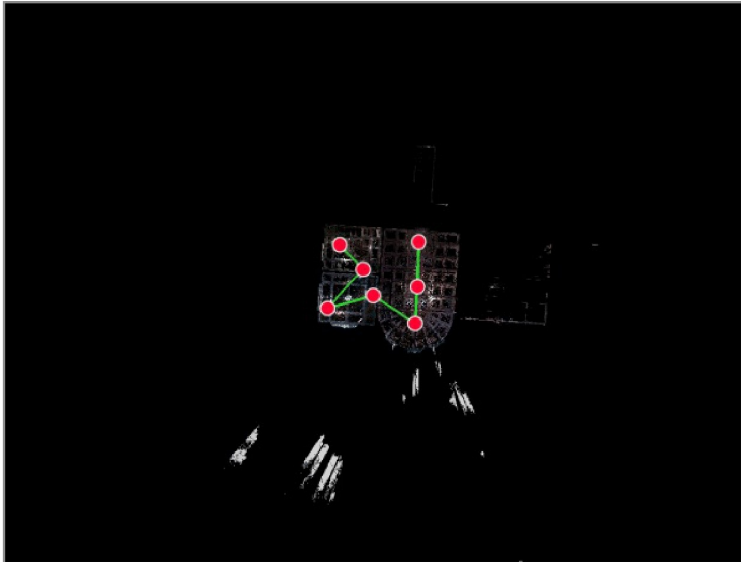
## ANEXO 3 – CYCLONE REGISTER 360: REGISTRATION REPORT

**Cyclone REGISTER 360**  
Registration Report



fev 16, 2022

*Certified by:*  
**GEENG**  
TCC Leonardo Camargo  
Laboratório de Geodésia Aplicada à Engenharia



SiteMap 1

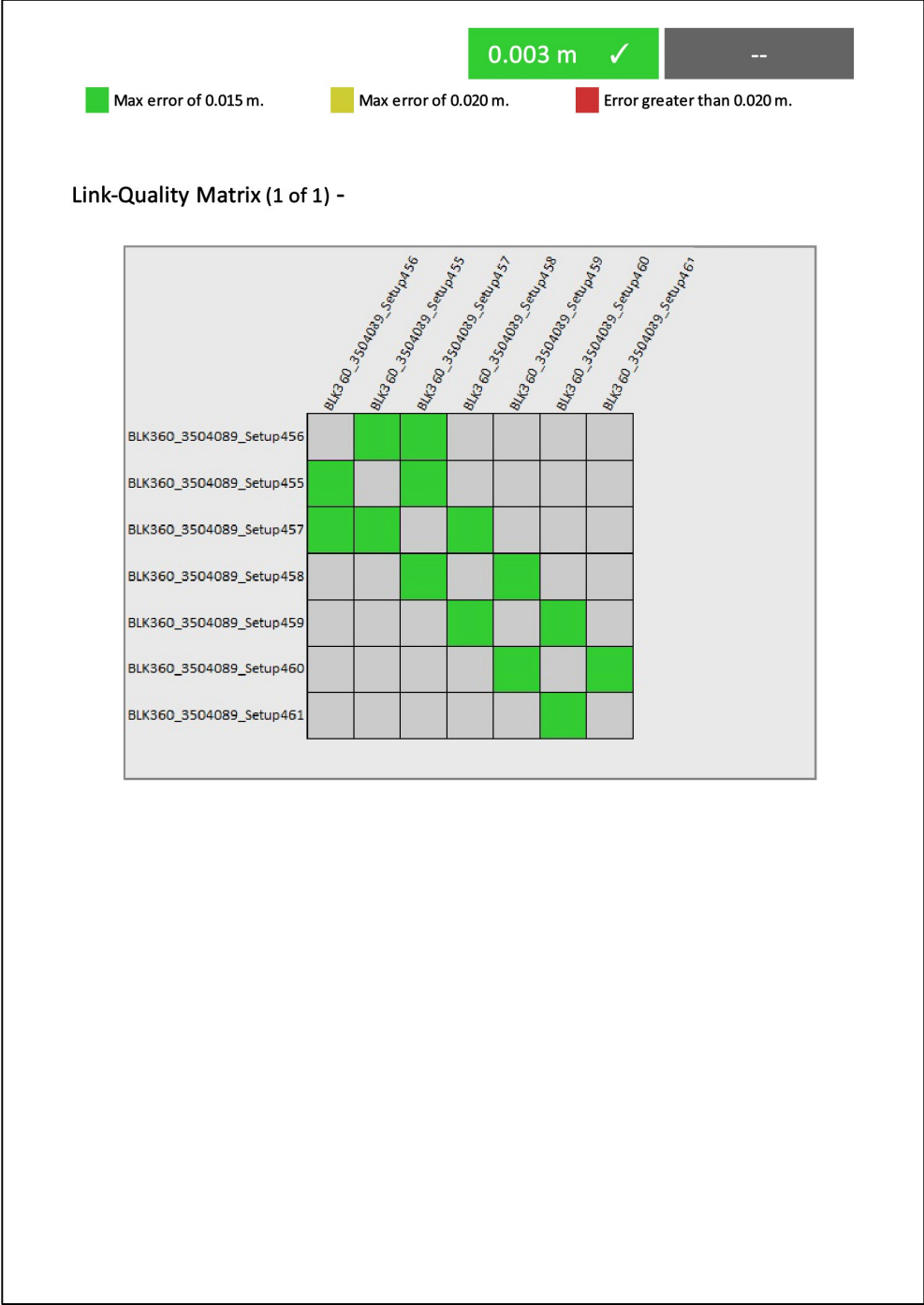
---

**Overall Quality**

Error Results for Bundle 1		Bundle Error	
Setup Count:	7	0.003 m ✓	
Link Count:	7		
Strength:	78 %	Overlap 74 % ✓	Strength 78 % ✓
Overlap:	74 %	Cloud-to-Cloud	Target Error

FONTE:O autor (2022).





FONTE:O autor (2022).

## Link Error Results

### 1 Overview

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 1	BLK360_3504089_Setup456	BLK360_3504089_Setup455	82 %	0.004 m
Link 2	BLK360_3504089_Setup457	BLK360_3504089_Setup456	81 %	0.004 m
Link 3	BLK360_3504089_Setup457	BLK360_3504089_Setup455	75 %	0.004 m
Link 4	BLK360_3504089_Setup458	BLK360_3504089_Setup457	63 %	0.002 m
Link 5	BLK360_3504089_Setup459	BLK360_3504089_Setup458	85 %	0.002 m
Link 6	BLK360_3504089_Setup460	BLK360_3504089_Setup459	52 %	0.002 m
Link 7	BLK360_3504089_Setup461	BLK360_3504089_Setup460	83 %	0.002 m

### 2 Details

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 1	BLK360_3504089_Setup456	BLK360_3504089_Setup455	82 %	0.004 m
		Cloud to Cloud Target	Mean Target Error:	0.004 m --

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 2	BLK360_3504089_Setup457	BLK360_3504089_Setup456	81 %	0.004 m
		Cloud to Cloud Target	Mean Target Error:	0.004 m --

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 3	BLK360_3504089_Setup457	BLK360_3504089_Setup455	75 %	0.004 m
		Cloud to Cloud Target	Mean Target Error:	0.004 m --

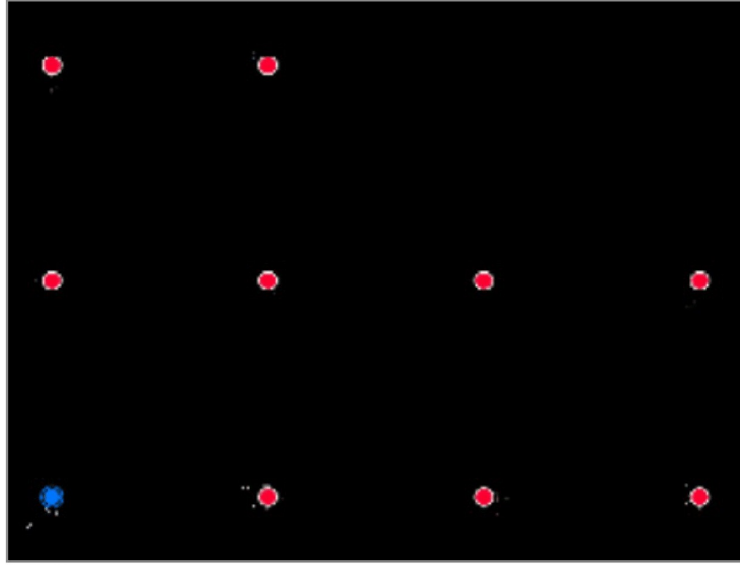
FONTE:O autor (2022).

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 4	BLK360_3504089_S etup458	BLK360_3504089_S etup457	63 %	0.002 m
		Cloud to Cloud Target	Mean Target Error:	0.002 m --
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 5	BLK360_3504089_S etup459	BLK360_3504089_S etup458	85 %	0.002 m
		Cloud to Cloud Target	Mean Target Error:	0.002 m --
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 6	BLK360_3504089_S etup460	BLK360_3504089_S etup459	52 %	0.002 m
		Cloud to Cloud Target	Mean Target Error:	0.002 m --
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 7	BLK360_3504089_S etup461	BLK360_3504089_S etup460	83 %	0.002 m
		Cloud to Cloud Target	Mean Target Error:	0.002 m --

FONTE:O autor (2022).

Graphics

---



ProjectIcon

FONTE:O autor (2022).