

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA POLITÉCNICA

RAÍSA COELHO MENDES

**Aplicação de técnicas de captura de dados para auxílio a projetos de reforma**

São Paulo

2023



RAÍSA COELHO MENDES

**Aplicação de técnicas de captura de dados para auxílio a projetos de reforma**

**Versão Corrigida**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica  
da Universidade de São Paulo, no âmbito do  
Programa de Mestrado Profissional em  
Inovação na Construção Civil, para obtenção  
do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Inovação na Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Toledo Santos

São Paulo

2023

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 03 de Julho de 2023

Assinatura do autor: Raiza Coelho Mendes

Assinatura do orientador: Prof. Felipe S. S.

#### Catálogo-na-publicação

MENDES, Raiza Coelho

Aplicação de técnicas de captura de dados para auxílio a projetos de reforma / R. C. MENDES -- versão corr. -- São Paulo, 2023.

329 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1.Edifícios existentes 2.Reabilitação 3.BIM 4.Escaneamento a laser  
5.Fotogrametria I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.  
Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t.



## FOLHA DE AVALIAÇÃO

Nome: MENDES, Raísa Coelho.

Título: Aplicação de técnicas de captura de dados para auxílio a projetos de reforma.

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, no âmbito do Programa de Mestrado Profissional em Inovação na Construção Civil, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovado em:

### Banca Examinadora

Prof.(a) Dr.(a)

---

Instituição:

---

Julgamento:

---

Prof.(a) Dr.(a)

---

Instituição:

---

Julgamento:

---

Prof.(a) Dr.(a)

---

Instituição:

---

Julgamento:

---



## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos especiais ao Prof. Dr. Eduardo Toledo Santos pela orientação nesta pesquisa, pela indicação de referências, eventos e informações essenciais ao desenvolvimento do trabalho.

Agradeço também à Universidade de São Paulo e à Escola Politécnica, composto pelo corpo docente e pelos funcionários que forneceram auxílio durante toda a jornada da pesquisa, em especial ao Prof. Dr. Fabiano Rogerio Corrêa, que apoiou experimentos em campo.

Reconhecimento e gratidão aos professores e profissionais que apoiaram este projeto, em destaque, a Prof<sup>a</sup> Fabiana Oliveira, a Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natalie Groetelaars e o Prof. Dr. Silvio Melhado, que forneceram essencial contribuição nas bancas, e os colegas pesquisadores, tais como Julio César Franco Jr., que organizaram eventos acadêmicos voltados à experimentação em campo com uso de ferramentas que foram objetos desta pesquisa.

Agradecimentos também às empresas parceiras, como a Trimble, que apoia a Escola Politécnica através do incentivo à educação baseada em tecnologia e da disponibilização de recursos de escaneamento a *laser* (equipamentos e programas cedidos), e à Construtivo, que auxiliou a pesquisa executando testes em campo.

Por fim, agradecimentos especiais pelo apoio de minha família – Antonio, Vanda, Clarissa e Guilherme – e de meus amigos arquitetos e engenheiros, que contribuíram de diversas formas para que a pesquisa tivesse sucesso, em especial Paola, Yukari, Tatiane, Rodrigo, Sarah, Rodolfo e Bashir.

Agradeço a Deus por todo suporte.



## RESUMO

MENDES, Raísa Coelho. **Aplicação de técnicas de captura de dados para auxílio a projetos de reforma**. Dissertação (Mestrado em Inovação na Construção), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

Reabilitações e reformas em edifícios existentes requerem tarefas preliminares de obtenção de dados com o intuito de fornecer aos profissionais de Arquitetura e Engenharia subsídios para o desenvolvimento de projetos. Contudo, em situações em que documentações *as built* atualizadas (ou *As is*) são ausentes ou imprecisas, podem existir riscos de projeto relacionados ao escopo – como a incompatibilidade dos dados e a falta de detecção e de proposição para solução de patologias –, como também riscos pertinentes à gestão do tempo – como atrasos em cronogramas de obra devido a inadequação projetual, originária de falta de informações base – e riscos relativos a custos – por exemplo, gastos não planejados, provenientes de registros incorretos das condições do edifício. No contexto do desenvolvimento de projeto no âmbito do *Building Information Modelling* (BIM), técnicas avançadas de captura de dados – tais como o escaneamento a *laser* e a fotogrametria – tem sido implementadas com êxitos e limitações de diferentes aspectos, explorados nesta pesquisa. Este trabalho tem como objetivo a redação de um guia sobre o uso de ferramentas e processos avançados que auxiliem o desenvolvimento de projetos de reabilitação e reformas, com foco nas etapas de captura de dados, objetivando ser um manual de consulta, de viés prático e sumarizado, para referência de estudantes e profissionais do mercado de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação. Os recursos metodológicos que embasam esta pesquisa são: revisão bibliográfica; realização de testes com ferramentas em campo e experimentação de processos computacionais, tais como a geração de nuvem de pontos e modelagem BIM; e entrevistas com profissionais.

Palavras-chave: Edifícios existentes; Reabilitação; BIM; Escaneamento a *laser*; Fotogrametria.



## ABSTRACT

MENDES, Raísa Coelho. **Application of data capture techniques to support renovation projects**. Dissertation (Masters in Construction Innovation), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

Rehabilitation and renovations in existing buildings require preliminary tasks of obtaining data in order to provide support to architecture and engineering professionals for the design development. However, in situations where up-to-date documentation (such as *As built* or *As is*) is missing or inaccurate, there may be project risks related to the scope – such as information incompatibility and lack of detection and proposition for pathologies solutions –, as well as risks relevant to time management – such as delays in construction schedules due to design inadequacy, originating from lack of basic information – and cost-related risks – for example, unplanned expenses, coming from incorrect registry of building conditions. In the context of design development and *Building Information Modelling* (BIM), advanced data capture techniques – such as laser scanning and photogrammetry – have been implemented with successes and limitations, in different aspects, explored in this research. This work aims to write a guide on the use of advanced tools and processes that help the development of rehabilitation and renovation projects, focusing on the data capture stages, aiming to be a practical and summarized manual, to be consulted by Architecture, Engineering, Construction and Operations (AECO) industry students and professionals. The applied methods that supported this research are: bibliographic review; experimentation with tools usage onsite and tests based on computational processes, such as point cloud generation and BIM modeling; and interviews with professionals.

Keywords: Existing buildings; Rehabilitation; BIM; Laser scanning; Photogrammetry.





## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Escâner a <i>laser</i> da Trimble em fase de captura do Edifício da Engenharia Civil da USP (São Paulo – SP).....	82
Figura 2 – Nuvem de pontos da Capela da Fazenda Veneza (Valinhos – SP) visualizada no <i>software</i> de registro Faro Scene.....	82
Figura 3 – Nuvem de pontos e modelo BIM.....	83
Figura 4 – Trena <i>laser</i> .....	86
Figura 5 – Exemplos de problemas e desafios da fotogrametria - captura sem um plano sistemático – cobertura incompleta, reconstrução 3D imprecisa, baixa visibilidade..	90
Figura 6 – Representação esquemática do escâner a <i>laser</i> terrestre.....	91
Figura 7 – Exemplos de tomada fotográfica em diferentes situações (quantidade de fotos e posição das tomadas) – (a) monorrestituição, (b) estereorrestituição e (c) restituição com múltiplas fotos. ....	95
Figura 8 – Exemplos de produtos obtidos das tomadas fotográficas em diferentes situações (quantidade de fotos e posição das tomadas) – (a) monorrestituição, (b) estereorrestituição e (c) restituição com múltiplas fotos.....	96
Figura 9 – Fotogrametria esférica – a projeção equirretangular.....	99
Figura 10 – Equipamentos para fotogrametria esférica.....	100
Figura 11 – Fotogrametria esférica - a igreja de Ronchamp.....	100
Figura 12 – Fotogrametria esférica – usos de câmera 360° em ambientes longos e estreitos.....	102
Figura 13 – Foto esférica (360°) de laje corporativa em São Paulo.....	103
Figura 14 – Modelos geométricos texturizados (malha TIN) feitos a partir de fotogrametria esférica.....	104
Figura 15 – Formas de captura com câmeras 360° e comparativo de passeio virtual com modelo BIM.....	105
Figura 16 – Nuvem de pontos gerada a partir do processamento das fotos 360° no <i>Matterport</i> .....	106
Figura 17 – Painel de fotos da Torre de Sopron (Hungria) com injeção de cimento para reconstituição de parede.....	107
Figura 18 – Seções do levantamento Georradar do arco da Torre de Sopron (Hungria), antes e depois das injeções de cimento para recomposição.....	107
Figura 19 – Anomalias detectadas na fachada arco da Torre de Sopron (Hungria)	108

Figura 20 – Seção de parede levantada com georradar, em que se identificam cabeamentos elétricos (em amarelo) e hidráulica (em vermelho) .....	109
Figura 21 – Levantamento georradar e planta de armações para compatibilização de projeto hidráulico de cozinha de escritório corporativo em São Paulo .....	109
Figura 22 – Vazamento de gás detectado com câmera térmica .....	110
Figura 23 – Problemas de isolamento térmico na região da porta, detectados com câmera térmica.....	111
Figura 24 – Conjunto de imagens - Detecção de problemas de isolamento térmico e detecção de elementos ocultos em sistemas de pisos, fachadas e vedações, usando o termógrafo .....	111
Figura 25 – Detecção de problemas de isolamento térmico em pilar e viga de concreto através do uso da ferramenta de câmera térmica .....	113
Figura 26 – Modelo 3D sem textura feito à partir de nuvem de pontos; modelo 3D com textura de foto RGB (ortofoto); e modelo 3D com textura de foto de termógrafo (ortofoto).....	114
Figura 27 – Exemplo de mapa de danos em fachada elaborado em <i>AutoCad</i> .....	116
Figura 28 – Fotogrametria terrestre – Câmera Canon EOS Rebel T100 com Lente EF-S 18-55mm f/3.5-5.6 III.....	165
Figura 29 – Fotogrametria terrestre – Casa em Sorocaba – Parede externa – Local de captura fotográfica.....	170
Figura 30 – Fotogrametria terrestre – Casa em Sorocaba – Parede externa – Amostra de fotos capturadas em campo. ....	170
Figura 31 – Fotogrametria terrestre – Casa em Sorocaba – Parede externa – Vista oblíqua do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.....	171
Figura 32 – Fotogrametria terrestre – Casa em Sorocaba – Paredes externas – Local de captura fotográfica.....	174
Figura 33 – Fotogrametria terrestre – Casa em Sorocaba – Paredes externas – Amostra de fotos capturadas em campo.....	174
Figura 34 – Fotogrametria terrestre – Casa em Sorocaba – Paredes externas – Vista frontal do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.....	175

Figura 35 – Fotogrametria terrestre – Casa em Sorocaba – Paredes externas – Vista traseira do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.....	175
Figura 36 – Fotogrametria terrestre – Casa em Sorocaba – Paredes externas – Vista traseira do modelo de confiabilidade gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.....	176
Figura 37 – Fotogrametria terrestre – Casa em Sorocaba – Paredes externas – Modelo BIM da feito no Autodesk Revit, com base na nuvem de pontos gerada na fotogrametria executada no Agisoft Metashape. ....	176
Figura 38 – Fotogrametria terrestre – Casa em Sorocaba – Parede interna – Local de captura fotográfica.....	179
Figura 39 – Fotogrametria terrestre – Casa em Sorocaba – Parede interna – Amostra de fotos capturadas em campo. ....	180
Figura 40 – Fotogrametria terrestre – Casa em Sorocaba – Parede interna – Vista frontal do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.....	180
Figura 41 – Fotogrametria terrestre – Estante – Apartamento em São Paulo – Amostra de fotos capturadas em campo. ....	184
Figura 42 – Fotogrametria terrestre – Estante – Apartamento em São Paulo – Vistas frontais da nuvem de pontos inserida no Revit, após processamento de fotogrametria feita na ferramenta Autodesk Recap Photo.....	184
Figura 43 – Fotogrametria terrestre – Estante – Apartamento em São Paulo – Modelo BIM da feito no Autodesk Revit, com base na nuvem de pontos gerada na fotogrametria executada no Autodesk Recap Photo. ....	185
Figura 44 – Fotogrametria terrestre – Parede externa em prédio em São Paulo – Amostra de fotos capturadas em campo. ....	189
Figura 45 – Fotogrametria terrestre – Parede externa em prédio em São Paulo – Vista frontal do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.....	189
Figura 46 – Fotogrametria terrestre – Parede externa em prédio em São Paulo – Modelo BIM da feito no Autodesk Revit, com base na nuvem de pontos gerada na fotogrametria executada no Agisoft Metashape. ....	190
Figura 47 – Fotogrametria terrestre – Canos expostos em prédio em São Paulo - Amostra de fotos capturadas em campo.....	193

Figura 48 – Fotogrametria terrestre – Canos expostos em prédio em São Paulo – Vistas do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.....	194
Figura 49 – Fotogrametria terrestre – Fachada da FAU-USP – Captura de fotos em campo. ....	198
Figura 50 – Fotogrametria terrestre – Fachada da FAU-USP – Locais de captura fotográfica indicadas em azul.....	198
Figura 51 – Fotogrametria terrestre – Fachada da FAU-USP – Amostra de fotos capturadas em campo.....	199
Figura 52 – Fotogrametria terrestre – Fachada da FAU-USP – Vista oblíqua superior esquerda do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.....	199
Figura 53 – Fotogrametria terrestre – Fachada da FAU-USP – Vista oblíqua direita do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.....	200
Figura 54 – Fotogrametria terrestre – Fachada da FAU-USP – Vista frontal do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape. ....	201
Figura 55 – Fotogrametria terrestre – Fachada da FAU-USP – Vista frontal do modelo de confiabilidade gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.....	201
Figura 56 – Fotogrametria terrestre – Fachada da FAU-USP – Modelo BIM simplificado da empena da fachada e do pilar, feito no Autodesk Revit, com base na nuvem de pontos gerada na fotogrametria executada no Agisoft Metashape. ....	202
Figura 57 – Fotogrametria terrestre – Pilar da FAU-USP – Captura de fotos em campo. ....	206
Figura 58 – Fotogrametria terrestre – Pilar da FAU-USP – Locais de captura fotográfica indicadas em azul.....	206
Figura 59 – Fotogrametria terrestre – Pilar da FAU-USP – Amostra de fotos capturadas em campo.....	207
Figura 60 – Fotogrametria terrestre – Pilar da FAU-USP – Vista frontal do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape. ....	207

Figura 61 – Fotogrametria terrestre – Pilar da FAU-USP – Vista oblíqua do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape. .....	208
Figura 62 – Fotogrametria terrestre – Pilar da FAU-USP – Vista oblíqua do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape. .....	209
Figura 63 – Fotogrametria terrestre – Pilar da FAU-USP – Vista oblíqua frontal e vista oblíqua de trás, do modelo de confiabilidade gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.....	210
Figura 64 – Fotogrametria terrestre – Pilar da FAU-USP – Modelo BIM simplificado do pilar, feito no Autodesk Revit, com base na nuvem de pontos gerada na fotogrametria executada no Agisoft Metashape. ....	210
Figura 65 – Fotogrametria terrestre – Portal de entrada do IME-USP – Captura de fotos em campo.....	214
Figura 66 – Fotogrametria terrestre – Portal de entrada do IME – Locais de captura fotográfica indicadas em azul.....	214
Figura 67 – Fotogrametria terrestre – Portal de entrada do IME – Amostra de fotos capturadas em campo.....	215
Figura 68 – Fotogrametria terrestre – Portal de entrada do IME – Vista frontal do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.....	215
Figura 69 – Fotogrametria terrestre – Portal de entrada do IME – Vista oblíqua do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.....	216
Figura 70 – Fotogrametria terrestre – Portal de entrada do IME – Vista oblíqua do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.....	216
Figura 71 – Fotogrametria terrestre – Portal de entrada do IME – Nuvem de pontos gerada no Agisoft Metashape inserido no Autodesk Revit. Plantas e elevação.....	217
Figura 72 – Fotogrametria terrestre – Fachada do IME-USP – Captura de fotos em campo. ....	220
Figura 73 – Fotogrametria terrestre – Fachada do IME – Locais de captura fotográfica indicadas em azul.....	221

Figura 74 – Fotogrametria terrestre – Fachada do IME – Amostra de fotos capturadas em campo.....	221
Figura 75 – Fotogrametria terrestre – Fachada do IME – Vista frontal do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape. ....	222
Figura 76 – Fotogrametria terrestre – Fachada do IME – Vista oblíqua do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape. ....	222
Figura 77 – Fotogrametria terrestre – Fachada do IME – Vista oblíqua do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape. ....	223
Figura 78 – Fotogrametria terrestre – Fachada da Poli-USP – Captura de fotos em campo. ....	227
Figura 79 – Fotogrametria terrestre – Fachada da Poli-USP – Local de captura fotográfica.....	227
Figura 80 – Fotogrametria terrestre – Fachada da Poli-USP – Amostra de fotos capturadas em campo.....	228
Figura 81 – Fotogrametria terrestre – Fachada da Poli-USP – Vista frontal do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape. ....	228
Figura 82 – Fotogrametria terrestre – Fachada da Poli-USP – Vista oblíqua do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape. ....	229
Figura 83 – Fotogrametria terrestre – Fachada da Poli-USP – Vista frontal do modelo de confiabilidade gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.....	230
Figura 84 – Fotogrametria terrestre – Fachada da Poli-USP – Modelo BIM simplificado da fachada, feito no Autodesk Revit, com base na nuvem de pontos gerada na fotogrametria executada no Agisoft Metashape. ....	230
Figura 85 – Fotogrametria terrestre – Pilar da Poli-USP – Captura de fotos em campo. ....	234
Figura 86 – Fotogrametria terrestre – Pilar da Poli-USP – Locais de captura fotográfica indicadas em azul.....	235
Figura 87 – Fotogrametria terrestre – Pilar da Poli-USP – Amostra de fotos capturadas em campo.....	235

Figura 88 – Fotogrametria terrestre – Pilar da Poli-USP – Vista frontal do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape. ....	236
Figura 89 – Fotogrametria terrestre – Pilar da Poli-USP – Vista oblíqua do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape. ....	236
Figura 90 – Pilar da Poli-USP – Vista oblíqua do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.....	237
Figura 91 – Fotogrametria terrestre – Pilar da Poli-USP – Vista oblíqua do modelo de confiabilidade gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.....	238
Figura 92 – Fotogrametria terrestre – Pilar da Poli-USP – Modelo BIM simplificado do pilar, feito no Autodesk Revit, com base na nuvem de pontos gerada na fotogrametria executada no Agisoft Metashape. ....	238
Figura 93 – Fotogrametria terrestre – Parede interna da Poli-USP – Amostra de fotos capturadas em campo.....	242
Figura 94 – Fotogrametria terrestre – Parede interna da Poli-USP – Vista frontal do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.....	242
Figura 95 – Fotogrametria terrestre – Parede interna da Poli-USP – Vista oblíqua do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.....	243
Figura 96 – Fotogrametria terrestre – Parede interna da Poli-USP – Modelo no Autodesk Revit, baseado na nuvem de pontos gerada no Agisoft Metashape. ....	244
Figura 97 - Câmera 360°, modelo Insta360 One X .....	245
Figura 98 – Fotogrametria com câmera 360° – Sala de apartamento em SP – Foto 360° visualizada na plataforma Matterport. ....	249
Figura 99 – Fotogrametria com câmera 360° – Sala de apartamento em SP – Modelo e medições de dimensões na plataforma Matterport.....	250
Figura 100 – Fotogrametria com câmera 360° – Sala de apartamento em SP – Amostra de fotos capturadas em campo para processamento no Agisoft Metashape e modelagem no Autodesk Revit.....	250

Figura 101 – Fotogrametria com câmera 360° – Sala de apartamento em SP – Vista do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.....	251
Figura 102 – Fotogrametria com câmera 360° – Sala de apartamento em SP – Vista do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.....	251
Figura 103 – Fotogrametria com câmera 360° – Sala de apartamento em SP – Vistas do modelo BIM simplificado, feito no Autodesk Revit, com base na nuvem de pontos gerada na fotogrametria executada no Agisoft Metashape. ....	252
Figura 104 – Fotogrametria com câmera 360° – Sala de apartamento em SP – Vistas do modelo BIM simplificado, feito no Autodesk Revit, com base na nuvem de pontos gerada na fotogrametria executada no Agisoft Metashape. ....	253
Figura 105 – Fotogrametria com câmera 360° – Salas de aula da Eng. Civil da USP – Amostra de fotos capturadas em campo para processamento no Agisoft Metashape e modelagem no Autodesk Revit.....	256
Figura 106 – Fotogrametria com câmera 360° – Salas de aula da Eng. Civil da USP – Vista do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.....	257
Figura 107 – Fotogrametria com câmera 360° – Salas de aula da Eng. Civil da USP – Vista do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.....	257
Figura 108 – Fotogrametria com câmera 360° – Salas de aula da Eng. Civil da USP – Vista do modelo de confiabilidade gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape. ....	258
Figura 109 – Fotogrametria com câmera 360° – Salas de aula da Eng. Civil da USP – Vistas do modelo BIM simplificado, feito no Autodesk Revit, com base na nuvem de pontos gerada na fotogrametria executada no Agisoft Metashape. ....	258
Figura 110 – Fotogrametria com câmera 360° – Área externa da sala de aula da Eng. Civil da USP – Amostra de fotos capturadas em campo para processamento no Agisoft Metashape e modelagem no Autodesk Revit. ....	262
Figura 111 – Fotogrametria com câmera 360° – Área externa da sala de aula da Eng. Civil da USP – Vista do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape. ....	262



Figura 112 – Fotogrametria com câmera 360° – Área externa da sala de aula da Eng. Civil da USP – Vista do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape. ....	263
Figura 113 – Fotogrametria com câmera 360° – Área externa da sala de aula da Eng. Civil da USP – Vistas do modelo BIM simplificado, feito no Autodesk Revit, com base na nuvem de pontos gerada na fotogrametria executada no Agisoft Metashape....	263
Figura 114 - VANT modelo DJI Mavic Pro.....	264
Figura 115 – Fotogrametria aérea – Cobertura do IAU São Carlos – Amostra de fotos capturadas em campo para processamento no Agisoft Metashape.....	269
Figura 116 – Fotogrametria aérea – Cobertura do IAU São Carlos – Modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape – planos azuis na parte de cima da imagem representam os pontos de captura de foto aérea .....	269
Figura 117 – Fotogrametria aérea – Cobertura do IAU São Carlos – Nuvem de pontos gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape. ....	270
Figura 118 – Fotogrametria aérea – Cobertura do IAU São Carlos – Vista do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape. ....	270
Figura 119 – Fotogrametria aérea – Cobertura do IAU São Carlos – Vista do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape. ....	271
Figura 120 – Fotogrametria aérea – Cobertura do IAU São Carlos – Vistas do modelo de massa BIM, feito no Autodesk Revit, com base na nuvem de pontos gerada na fotogrametria executada no Agisoft Metashape. ....	272
Figura 121 – Equipamentos de escâner a <i>laser</i> usados nos testes em campo.....	272
Figura 122 – Alvos – Referências para captura em campo.....	277
Figura 123 – Escâner a <i>laser</i> – Capela da Fazenda Veneza – Fotos das capturas com escâner a <i>laser</i> em campo. ....	279
Figura 124 – Escâner a <i>laser</i> – Capela da Fazenda Veneza – Vista do modelo de nuvem de pontos antes do registro completo no programa Faro Scene. ....	279
Figura 125 – Escâner a <i>laser</i> – Capela da Fazenda Veneza – Vista da nuvem de pontos após registro completo no Faro Scene. ....	280

Figura 126 – Escâner a <i>laser</i> – Capela da Fazenda Veneza – Modelo no Autodesk Revit, baseado na nuvem de pontos gerada no Faro Scene. ....	280
Figura 127 – Escâner a <i>laser</i> – Sala de escritório – Fotos das capturas com escâner a <i>laser</i> em campo.....	283
Figura 128 – Escâner a <i>laser</i> – Sala de escritório – Vista do modelo de nuvem de pontos no Autodesk Recap. ....	284
Figura 129 – Escâner a <i>laser</i> – Sala de escritório – Modelo no Autodesk Revit. ....	285
Figura 130 – Escâner a <i>laser</i> – Sala de escritório – Modelo no Autodesk Revit. ....	285
Figura 131 – Escâner a <i>laser</i> – Salas de aula da Eng. Civil da USP – Fotos das capturas com escâner a <i>laser</i> em campo.....	287
Figura 132 – Escâner a <i>laser</i> – Salas de aula da Eng. Civil da USP – Vistas do modelo de nuvem de pontos no programa Trimble RealWorks. ....	288
Figura 133 – Escâner a <i>laser</i> – Salas de aula da Eng. Civil da USP – Vistas do modelo de nuvem de pontos no programa Trimble RealWorks. ....	289
Figura 134 – Escâner a <i>laser</i> – Salas de aula da Eng. Civil da USP – Modelo no Autodesk Revit. ....	289
Figura 135 – Escâner de mão DPI-8 da Trimble. ....	290
Figura 136 – Escâner de mão DPI-8 da Trimble – elementos de captura de dados. ....	291
Figura 137 – Escâner de mão DPI-8 da Trimble – captura em andamento. ....	293
Figura 138 – Escâner de mão – Estante – Visualização da nuvem de pontos no programa Autodesk Recap.....	295
Figura 139 – Escâner de mão – Estante – Modelo no Autodesk Revit. ....	295
Figura 140 – Escâner de mão – Fachada externa de sala de aula da Eng. Civil da USP – Foto da captura com escâner de mão em campo. ....	298
Figura 141 – Escâner de mão – Fachada externa de sala de aula da Eng. Civil da USP – Medição com trena <i>laser</i> . ....	298
Figura 142 – Escâner de mão – Fachada externa de sala de aula da Eng. Civil da USP – Visualização frontal da nuvem de pontos no programa Autodesk Recap. ....	298
Figura 143 – Escâner de mão – Fachada externa de sala de aula da Eng. Civil da USP – Visualização superior (planta) da nuvem de pontos no programa Autodesk Recap. ....	299
Figura 144 – Câmera térmica Flir.....	300

Figura 145 – Termógrafo (câmera térmica) – Parede e janela – Fotos obtidas em campo. ....	303
Figura 146 – Termógrafo (câmera térmica) – Parede e janela – Fotos obtidas em campo. ....	303
Figura 147 – Termógrafo (câmera térmica) – Parede e janela – Fotos obtidas em campo. ....	303
Figura 148 – Termógrafo (câmera térmica) – Fachada externa – Fotos obtidas em campo. ....	305
Figura 149 – Termógrafo (câmera térmica) – Fachada externa – Fotos obtidas em campo. ....	305

## LISTA DE ESQUEMAS

Esquema 1 – Etapas de desenvolvimento de pesquisa e metodologia.....	43
Esquema 2 – Modelo linear do ciclo de vida completo de um edifício .....	55
Esquema 3 – Fluxograma de atividade técnica de projeto convencional .....	74
Esquema 4 – Técnicas de captura de dados e pesquisa em edifícios .....	85
Esquema 5 – Etapas geralmente realizadas para um levantamento com a tecnologia de escaneamento a <i>laser</i> .....	94
Esquema 6 – Etapas geralmente realizadas para um levantamento com o sistema de varredura por fotogrametria.....	98
Esquema 7 – Processos de criação de modelo BIM para edifícios novos e existentes .....	119

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Recuperação do desempenho por ações de manutenção.....	58
Gráfico 2 – Curva de MacLeamy (Esforço versus Tempo).....	58
Gráfico 3 – O valor da documentação da edificação para proprietários ao longo do tempo, nos ciclos de Projeto, Construção e Operação .....	71
Gráfico 4 – Valor da informação agregada nos estágios de maturidade na gestão da informação.....	77

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Frequência de usos BIM.....	68
Tabela 2 – Taxa de sucesso dos experimentos, conforme técnica e tamanho, conforme o Quadro 9 .....	130
Tabela 3 – Tempo de captura médio (em minutos) por classificação de tamanho do objeto, referente ao Quadro 9. ....	131
Tabela 4 – Tempo de captura médio (em minutos) por classificação de resultado do modelo, referente ao Quadro 9. ....	131
Tabela 5 – Custo das ferramentas usadas nos experimentos da pesquisa. ....	135
Tabela 6 – Custo dos programas computacionais usados nos experimentos da pesquisa.....	136

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo dos testes e experimentos, com os ambientes, elementos capturados e ferramentas de captura de dados. ....	44
Quadro 2 – Escalas de adaptação e grau de mudança de edifícios existentes .....	52
Quadro 3 – Usos BIM.....	66
Quadro 4 – Comparações relativas de diferentes técnicas de aquisição no setor de prédios .....	88
Quadro 5 – Comparações entre escaneamento a <i>laser</i> e fotogrametria.....	88
Quadro 6 – Comparações entre escaneamento a <i>laser</i> e fotogrametria.....	89
Quadro 7 – Tipos de escâner a <i>laser</i> e seus respectivos dados capturados .....	92
Quadro 8 – Exemplo de quadro diagnóstico e de recomendações da APO .....	118
Quadro 9 – Resumo das análises dos experimentos principais.....	126
Quadro 10 – Gráfico da relação entre quantidade de capturas (eixo x) com tempo de processamento para geração de nuvem de pontos em minutos (eixo y), para câmeras DSLR e 360°, segundo Quadro 9.....	132
Quadro 11 – Fotogrametria terrestre – resumo dos testes de acordo com os ambientes, objetos e tipo de câmera utilizada, com numeração dos testes (estudos de caso). .....	167
Quadro 12 – Fotogrametria terrestre - Dados sobre o caso 1 – Parede externa em casa em Sorocaba. ....	168
Quadro 13 – Fotogrametria terrestre – Dados sobre o caso 2 – Área externa em casa em Sorocaba.....	171
Quadro 14 – Fotogrametria terrestre - Dados sobre o caso 3 – Parede interna em casa em Sorocaba.....	178
Quadro 15 – Fotogrametria terrestre - Dados sobre o caso 4 – Estante em apartamento em São Paulo.....	181
Quadro 16 – Fotogrametria terrestre - Dados sobre o caso 5 – Parede externa em prédio em São Paulo.....	187
Quadro 17 – Fotogrametria terrestre - Dados sobre o caso 6 – Canos expostos em prédio em São Paulo.....	191
Quadro 18 – Fotogrametria terrestre - Dados sobre o caso 7 – Fachada externa da FAU USP.....	194
Quadro 19 – Fotogrametria terrestre - Dados sobre o caso 8 - Pilar da FAU USP. ....	203

Quadro 20 – Fotogrametria terrestre - Dados sobre o caso 9 – Portal de entrada no IME USP.....	211
Quadro 21 – Fotogrametria terrestre - Dados sobre o caso 10 – Portal de entrada no IME USP.....	218
Quadro 22 – Fotogrametria terrestre - Dados sobre o caso 11 - Fachada da Poli Civil USP.....	224
Quadro 23 – Fotogrametria terrestre - Dados sobre o caso 12 - Pilar da Poli Civil USP. ....	232
Quadro 24 – Fotogrametria terrestre – Dados sobre o caso 13 – Parede interna da Poli Civil USP. ....	240
Quadro 25 – Fotogrametria com Câmera 360° – resumo dos testes de acordo com os ambientes, objetos e tipo de câmera utilizada, com numeração dos testes (estudos de caso). ....	246
Quadro 26 – Fotogrametria com câmera 360° – Dados sobre o caso 14 – Sala residencial em SP. ....	247
Quadro 27 – Fotogrametria com câmera 360° – Dados sobre o caso 15 – Salas de aula da Eng. Civil da USP .....	254
Quadro 28 – Fotogrametria com câmera 360° – Dados sobre o caso 16 – Fachada externa de sala de aula da Eng. Civil da USP.....	259
Quadro 29 – Fotogrametria aérea com Câmera embarcada em VANT – resumo do teste de acordo com o ambiente, objeto e tipo de câmera utilizada, com numeração do teste (estudo de caso). ....	266
Quadro 30 – Fotogrametria aérea – Dados sobre o caso 17 – Cobertura e volumetria do IAU São Carlos.....	266
Quadro 31 – Comparativo de especificações entre equipamentos de escâner a <i>laser</i> usados nos testes em campo.....	273
Quadro 32 – Escâner a <i>laser</i> em tripé – resumo dos testes de acordo com o ambiente, objeto e tipo de equipamento utilizado, com numeração do teste (estudo de caso). ....	277
Quadro 33 – Escâner a <i>laser</i> em tripé – Dados sobre o caso 18 – Capela da Fazenda Veneza. ....	278
Quadro 34 – Escâner a <i>laser</i> em tripé – Dados sobre o caso 19 – Sala de escritório. ....	281



Quadro 35 – Escâner a <i>laser</i> em tripé – Dados sobre o caso 20 – Salas de aula da Eng. Civil da USP.....	286
Quadro 36 – Especificações do escâner de mão Trimble DPI-8.....	291
Quadro 37 – Escâner de mão – resumo dos testes de acordo com o ambiente, objeto e tipo de equipamento utilizado, com numeração do teste (estudo de caso).....	293
Quadro 38 – Escâner de mão – Dados sobre o caso 21 – Estante em apartamento em São Paulo.....	294
Quadro 39 – Escâner de mão – Dados sobre o caso 22 – Fachada externa de sala de aula da Eng. Civil da USP. ....	296
Quadro 40 – Especificações da câmera térmica.....	300
Quadro 41 – Termógrafo (câmera térmica) – resumo dos testes de acordo com o ambiente e objeto, com numeração do teste (estudo de caso).....	301
Quadro 42 – Termógrafo (câmera térmica) – Dados sobre o caso 23 – Parede e janela em apartamento em São Paulo.....	302
Quadro 43 – Termógrafo (câmera térmica) – Dados sobre o caso 24 – Partes de fachada externa em prédio de apartamentos em São Paulo. ....	304

## LISTA DE SIGLAS

2D	2 dimensões
3D	3 dimensões
AECO	Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação
APO	Avaliação pós ocupação
BIM	<i>Building Information Modelling</i>
CAD	<i>Computer-aided design</i>
DSLR	<i>Digital Single Lens Reflex</i>
DSM	<i>Dense Stereo Matching</i>
DSR	<i>Design Science Research</i>
EL	Escaneamento a laser
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPR	<i>Ground Penetrating Radar</i> , ou Georradar ou Radar de Penetração
IFC	<i>Industry Foundation Class</i>
LiDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
LOD	<i>Level of development</i> , ou nível de desenvolvimento e detalhe
LS	<i>Laser scan</i>
NEP	Nível de evolução do projeto
NP	Nuvem de pontos
RGB	<i>Red, Green and Blue</i>
SaaS	<i>Software as a Service</i>
SLAM	<i>Simultaneous Location and Mapping</i>
TIN	<i>Triangular Irregular Network</i>
VANT	Veículo aéreo não tripulado





## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>37</b>
<b>1.1 Justificativa .....</b>	<b>39</b>
<b>1.2 Objetivos .....</b>	<b>40</b>
1.2.1 Objetivo geral .....	40
1.2.2 Objetivos específicos .....	40
<b>1.3 Metodologia.....</b>	<b>42</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>47</b>
2.1 Gestão de projetos .....	47
2.2 Reabilitação e reformas .....	50
2.2.1 Definições sobre reabilitação e reforma .....	50
2.2.1.1 Tipos de reabilitação e reforma.....	50
2.2.1.2 Escalas de reabilitação e reforma.....	52
2.2.2 Razões e objetivos das reabilitações e reformas .....	53
2.2.3 Ciclo de vida e sustentabilidade .....	54
2.2.3.1 Hipótese da deterioração .....	56
2.2.3.2 A influência da adaptação no ciclo de vida da edificação .....	57
2.2.3.3 Questões financeiras da reabilitação e mercado imobiliário .....	59
2.2.3.4 Aspectos técnicos e ambientais da reabilitação.....	61
2.2.4 Processos projetuais da reabilitação de edifícios.....	62
2.3 BIM .....	64
2.3.1 Definições sobre BIM e seus benefícios .....	64
2.3.2 Usos BIM.....	66
2.3.2.1 Usos potenciais do BIM para reabilitação de edifícios sob a ótica de projetistas e proprietários .....	69
2.3.3 Conceitos de projeto BIM .....	72

2.3.3.1	Fases de projeto, níveis de desenvolvimento, tipos de modelos .....	72
2.3.3.2	Implantação de processos BIM em escritórios de projeto.....	76
2.3.3.3	Plano de execução de projeto BIM .....	78
2.3.4	Projeto de reabilitação e reforma BIM.....	79
2.4	Dados e análises sobre o edifício existente.....	83
2.4.1	Levantamentos dimensionais e geométricos .....	85
2.4.1.1	Escâner a <i>laser</i> .....	90
2.4.1.2	Fotogrametria.....	95
2.4.2	Outros levantamentos especializados.....	102
2.4.2.1	Visualização com fotografias 360° .....	103
2.4.2.2	Georradar.....	106
2.4.2.3	Termógrafo (câmera térmica) .....	109
2.4.3	Engenharia diagnóstica, estudo do estado de conservação e mapas de danos 114	
2.4.4	Avaliação Pós Ocupação (APO) .....	116
2.4.5	Uso de dados capturados e modelagem em BIM para projetos de reabilitação e reforma.....	119
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>123</b>
3.1	Testes e experimentos.....	123
3.2	Entrevistas .....	139
3.2.1	Entrevistas iniciais de pesquisa .....	139
3.2.1.1	Entrevista com projetista de arquitetura e paisagismo.....	139
3.2.1.2	Entrevista com projetista de arquitetura.....	141
3.2.1.3	Entrevista com coordenadora BIM de construtora .....	142
3.2.1.4	Entrevista com profissional especialista em BIM e escaneamento a <i>laser</i> 145	
3.2.2	Questionários finais da pesquisa .....	146

3.3 Guia prático e resumido para captura de dados da realidade existente para projetos de reformas .....	148
<b>4. CONCLUSÕES .....</b>	<b>151</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>153</b>
<b>APÊNDICE A – Testes e experimentos da pesquisa .....</b>	<b>165</b>
A. Fotogrametria terrestre com Câmera DSLR .....	165
i. Caso 1: Parede externa em casa em Sorocaba .....	167
ii. Caso 2: Área externa (paredes) em casa em Sorocaba.....	171
iii. Caso 3: Parede interna em casa em Sorocaba .....	177
iv. Caso 4: Estante em apartamento em São Paulo.....	181
v. Caso 5: Parede externa em prédio em São Paulo.....	186
vi. Caso 6: Canos expostos em prédio de apartamento em São Paulo .....	191
vii. Caso 7: Fachada externa da FAU USP .....	194
viii. Caso 8: Pilar externo da FAU USP.....	203
ix. Caso 9: Portal de entrada no IME USP .....	211
x. Caso 10: Fachada externa no IME USP .....	218
xi. Caso 11: Fachada externa na Eng. Civil da USP .....	224
xii. Caso 12: Pilar externo na Eng. Civil da USP .....	231
xiii. Caso 13: Parede interna na Eng. Civil da USP.....	240
B. Fotogrametria terrestre com Câmera 360º .....	245
i. Caso 14: Sala de apartamento – cidade de São Paulo .....	247
ii. Caso 15: Salas de aula da Eng. Civil da USP .....	254
iii. Caso 16: Fachada externa de sala de aula da Eng. Civil da USP .....	259
C. Fotogrametria aérea com câmera embarcada em VANT .....	264
i. Caso 17: Cobertura e volumetria do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – cidade de São Carlos.....	266
D. Escâner a <i>laser</i> terrestre.....	272
i. Caso 18: Capela da Fazenda Veneza – cidade de Valinhos, SP .....	277

ii. Caso 19: Sala de escritório corporativo em São Paulo.....	281
iii. Caso 20: Salas de aula da Eng. Civil da USP .....	286
E. Escâner de mão.....	290
i. Caso 21: Estante em apartamento em São Paulo.....	294
ii. Caso 22: Fachada externa de sala de aula da Eng. Civil da USP .....	296
F. Termógrafo (câmara térmica) .....	299
i. Caso 23: Parede e janela em apartamento em São Paulo.....	301
ii. Caso 24: Partes de fachada externa em prédio de apartamentos em São Paulo 304	
<b>APÊNDICE B – Resultado do questionário .....</b>	<b>307</b>
<b>APÊNDICE C – Guia prático e resumido para captura de dados da realidade existente para projetos de reformas.....</b>	<b>309</b>



## 1. INTRODUÇÃO

Dentro do ciclo de vida de um edifício, as etapas de uso e operação são as que duram mais tempo e consomem mais recursos, tais como energia, água, capital humano e financeiro. Além disso, seu desempenho tende a se reduzir ao passar dos anos, criando uma demanda por reformas e manutenções.

A obsolescência das edificações é causada por diversos motivos – como o surgimento de patologias construtivas, a inadequação às questões de conforto ambiental, a ineficiência dos sistemas energéticos e hidráulicos, a falta de aderência às novas demandas espaciais e funcionais da sociedade, os altos custos operacionais –, tornando muito oportunas reabilitações e reformas das construções existentes como forma de combate aos problemas elencados.

O termo *refurbishment* (reabilitação) é definido como “todo o trabalho de melhoramento, adaptação, atualização, restauro, modernização, conservação, *retrofit* e reparo executado em edifícios, ou partes destes, por uma variedade de razões” (EGBU; YOUNG; TORRANCE, 1997, *apud* MARQUES DE JESUS, 2008, p. 19)<sup>1</sup>. Segundo Morettini (2012, p. 3-4), a reabilitação constitui-se de atividades complexas, sendo um “novo nicho que ainda precisa ser devidamente conhecido e explorado”. Este tipo de obra, diferentemente das novas construções, possui particularidades desde o projeto até a execução: o levantamento do prédio existente, por exemplo, é fundamental para o processo do projeto; outro exemplo é a execução, que pode ser dificultada por falta de padronizações, baixa produtividade ou complexidade logística (CROITOR e MELHADO, 2009, p. 2).

Assim, este tipo de projeto possui especificidades quanto à gestão: há necessidade de se entender as características do prédio existente e se fazer um levantamento físico e espacial antes mesmo de se iniciar o planejamento e o desenvolvimento do projeto – ou seja, precisa-se fazer um registro atual da edificação antes de se iniciar o

---

<sup>1</sup> EGBU, C. O.; YOUNG, B.; TORRANCE, V. B. Planning and control processes and techniques for refurbishment management. **Construction Management and Economics**, London, v. 16, p. 315-325. Jul. 1997.

desenvolvimento do projeto de intervenção; há uma profunda relação entre projetistas e equipes de obra, uma vez que a obra já está parcialmente pronta; pode haver questões de restauro e patrimônio a serem consideradas etc. Portanto, os modelos gerenciais de projeto de reabilitação são diferentes dos convencionais, usados em edifícios a construir do zero.

A introdução de tecnologias e formas de gestão avançadas pode aprimorar e trazer novas soluções para processos de reabilitação. Em casos como o do *Building Information Modelling* (BIM), da fotogrametria e do escaneamento a *laser* (EL), pode-se dizer que estes avanços ferramentais e de paradigma constituem uma oportunidade de enfrentar os problemas percebidos atualmente na gestão de projetos de reabilitação e reformas.

Segundo Eastman *et al.* (2014, p. 335), "no processo tradicional, uma equipe coletaria e criaria plantas das facilidades existentes e repetiria este esforço a cada poucos anos." Já num processo BIM, apoiado em escaneamento a *laser* e outras técnicas avançadas de captura, seria possível agilizar, renovar e aumentar o nível de automatização do levantamento das pré-existências de forma a compor um *As built* (projeto conforme construído) ou *As is* (projeto em conformidade com o encontrado atualmente). Haveria, portanto, uma oportunidade de reduzir erros de levantamento que resultam em projetos de reforma mal embasados, evitando revisões de projeto e ajustes feitos em obra. O uso de ferramentas e modelos gerenciais avançados, como se vê no BIM, pode diminuir os problemas de comunicação entre equipes e compatibilidade entre especificações, bem como reduzir o compartilhamento de dados errados e a omissão de informação.

Assim, essa pesquisa apresenta e discute sobre tecnologias avançadas do setor da construção civil que podem trazer ganhos processuais e ferramentais substanciais à reabilitação e reformas de edifícios existentes. O que se espera nesse trabalho é elucidar como estas tecnologias e processos podem auxiliar e melhorar a gestão de projetos de reabilitação e reforma, mediante o desenvolvimento de um guia voltado para estudantes e profissionais do mercado da arquitetura, engenharia, construção e operação de edifícios (AECO).

## 1.1 Justificativa

Esta pesquisa visa contribuir com estudos sobre o processo de captura de dados de edifícios existentes, bem como com proposições de soluções a problemas reais de projetos de reforma, problemas estes originados da falta de informação sobre a realidade espacial e construtiva. Através das metodologias da pesquisa – sobretudo com a busca de referências e com base em experimentações em campo –, o trabalho poderá colaborar para o aprimoramento acadêmico e profissional do setor da AECO, visto que a dissertação e o guia resultante dela fornecem diretrizes, dados sobre benefícios, bem como compartilham os problemas e limitações da captura de dados com técnicas avançadas de levantamento.

Sobre o guia, especificamente, a contribuição que esta pesquisa espera abranger é o desenvolvimento de um manual de viés prático, de consulta, sumarizado, abordando tecnologias e processos avançados que amparem a gestão de projetos em edifícios existentes, especificamente no âmbito da etapa do projeto e das atividades preliminares ao projeto.

A divulgação de informação sobre o BIM e as ferramentas avançadas de captura de dados de edifícios existentes tem potencial de capacitar pessoas para um melhor planejamento e desenvolvimento de projetos de reabilitação e reformas. Segundo o decreto nº 9.983 (BRASIL, 2019), a difusão “do BIM e seus benefícios”, o estímulo à “capacitação em BIM”, bem como a proposição de “atos normativos que estabeleçam parâmetros para as compras e contratações” e o desenvolvimento de “normas técnicas, guias e protocolos específicos para adoção do BIM” são relevantes em esfera nacional. Ademais, no decreto nº 10.306 (BRASIL, 2020), destacam-se as especificidades do mercado da AECO, revelando a importância do tema no país.

## 1.2 Objetivos

A seguir, os objetivos gerais e específicos da pesquisa são explorados.

### 1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver um guia sobre o uso de ferramentas e processos avançados que auxilie profissionais e estudantes do mercado da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) no desenvolvimento de projetos de reabilitação e reformas de edifícios, com foco na etapa de captura de dados das condições existentes. As ferramentas e processos avançados a serem explorados são a modelagem BIM, o escaneamento a *laser* e a fotogrametria, incluindo algumas de suas variantes. Este guia terá viés prático e sumarizado, servindo como um manual para fácil e rápida consulta. Espera-se assim que os profissionais da área tenham mais informação sobre os temas e consigam aplicar de forma efetiva as novas tecnologias de captura.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- a) Descrever, em capítulos temáticos do guia, os seguintes conteúdos: (1) introduzir, com resumo teórico, as técnicas de capturas de dados e processamento para posterior modelagem BIM de edifícios existentes; (2) descrever as ferramentas, focando em fotogrametria e escaneamento a *laser*, bem como procedimentos e boas práticas de aplicação em campo; (3) abordar temas sobre o processamento de dados, que são baseados em programas computacionais, transformando-os em nuvens de pontos; e (4) explicar simplificadaamente como a modelagem BIM pode ser feita a partir de dados de nuvem de pontos;
- b) Ilustrar formatos, diretrizes e parâmetros práticos para captura, processamento e uso de dados em processos de reabilitação e reforma, com apoio em técnicas avançadas de captura e técnicas simplificadas de modelagem BIM, expondo características relacionadas às ferramentas e métodos, auxiliando o público

leitor em tomadas de decisão sob diversos aspectos (níveis de precisão, comparativos, planos de execução etc.);

- c) Analisar oportunidades, benefícios, limitações e riscos, bem como vantagens e desvantagens observadas em técnicas avançadas de captura de dados, processamento e modelagem no contexto de projeto de reabilitação e reforma, tais como os aspectos técnicos, financeiros e humanos;
- d) Usar como base para os objetivos citados anteriormente os estudos práticos desempenhados em campo, transformando as lições aprendidas em informações a constar no guia de consulta, prático e sumarizado.

### 1.3 Metodologia

O desenvolvimento da pesquisa conta com revisão bibliográfica, realização de testes com ferramentas em campo, experimentação de processos computacionais (como geração de nuvem de pontos e modelagem BIM) e entrevistas com profissionais.

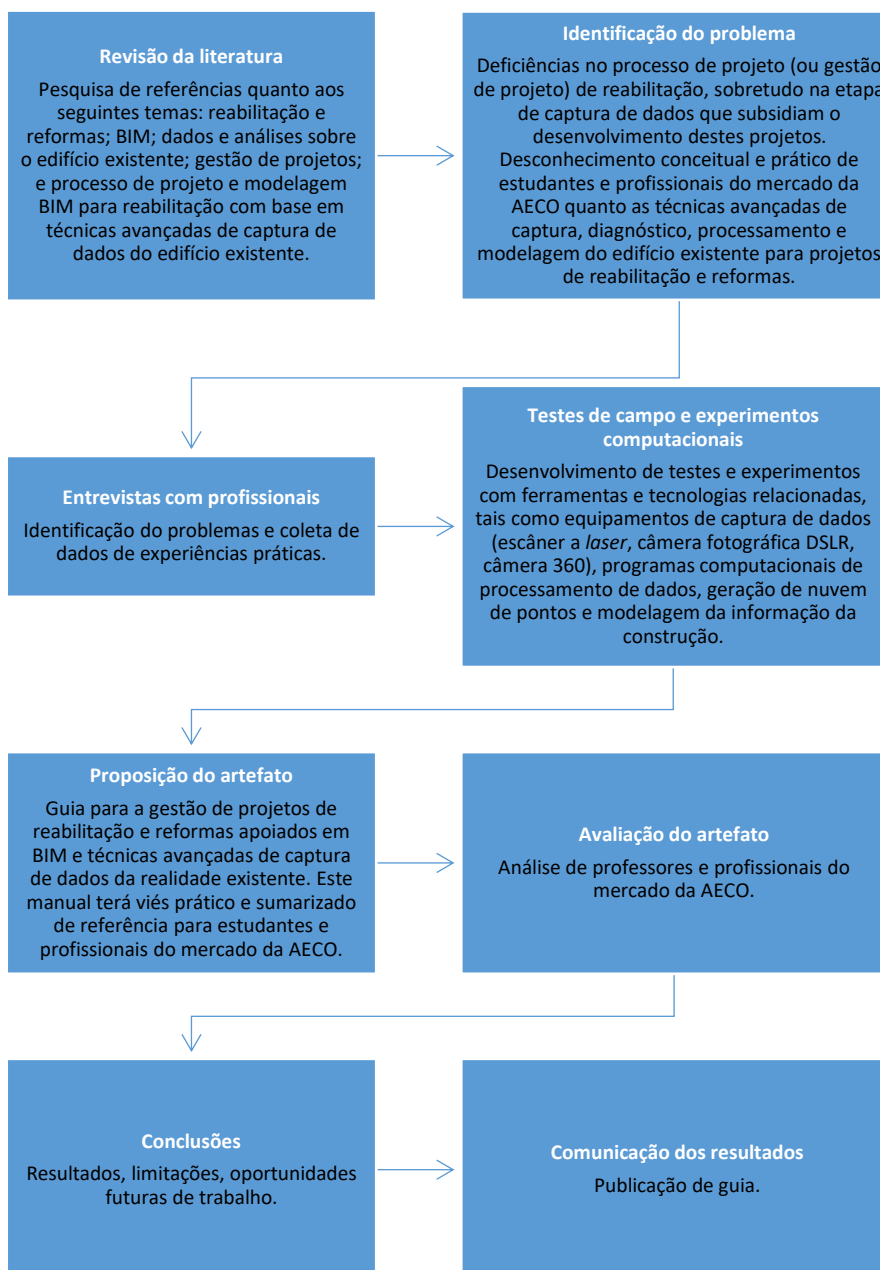
Visto que o objetivo desta pesquisa é criar um artefato em formato de guia prático, com o intuito de solucionar um problema do mercado da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO), esta pesquisa também se baseia na *Design Science Research* ou DSR (DRESCH *et al.*, 2015). O Esquema 1 mostra a sequência metodológica da pesquisa baseado na DSR.

Conforme ilustrado no Esquema 1, além da revisão de literatura, fontes importantes de dados para esta pesquisa foram obtidas em testes experimentais. Os dados capturados estão resumidamente descritos no Quadro 1.

Os equipamentos usados para as capturas foram os seguintes:

- a) Câmera digital Digital Single Lens Reflex (DSLR);
- b) Câmera 360°;
- c) Câmera aérea, transportada por drone
- d) Escâner a *laser* terrestre e estático;
- e) Escâner de mão dinâmico; e
- f) Termógrafo.

Esquema 1 – Etapas de desenvolvimento de pesquisa e metodologia



Fonte: a autora.

Quadro 1 – Resumo dos testes e experimentos, com os ambientes, elementos capturados e ferramentas de captura de dados.

LOCAL - Ambiente (elemento)	Nº DO CASO	CÂMERA DSLR	CÂMERA 360º	CÂMERA AÉREA	ESCÂNER LASER	ESCÂNER DE MÃO	TERMÓGRAFO
1. USP SÃO CARLOS - Prédio - Área externa (cobertura)	17			Sim			
2. CAPELA VENEZA - Prédio - Área externa (edifício)	18				Sim		
3. APARTAMENTO EM SÃO PAULO - Objeto - Ambiente interno (móvel - estante)	4 e 21	Sim				Sim	
3. APARTAMENTO EM SÃO PAULO - Prédio - Ambiente externo (parede)	5	Sim					
3. APARTAMENTO EM SÃO PAULO - Prédio - Ambiente interno (canos expostos)	6	Sim					
3. APARTAMENTO EM SÃO PAULO - Prédio - Ambiente interno (sala)	14 e 23		Sim				Sim
3. APARTAMENTO EM SÃO PAULO - Prédio - Ambiente externo (fachada)	24						Sim
4. FAU USP SP - Prédio - Ambiente externo (fachada)	7	Sim					
4. FAU USP SP - Prédio - Ambiente externo (pilar)	8	Sim					



<b>LOCAL - Ambiente (elemento)</b>	<b>Nº DO CASO</b>	<b>CÂMERA DSLR</b>	<b>CÂMERA 360º</b>	<b>CÂMERA AÉREA</b>	<b>ESCÂNER LASER</b>	<b>ESCÂNER DE MÃO</b>	<b>TERMÓGRAFO</b>
<b>5. IME USP SP - Prédio - Ambiente externo (portal)</b>	9	Sim					
<b>5. IME USP SP - Prédio - Ambiente externo (fachada)</b>	10	Sim					
<b>6. EP CIVIL USP - Prédio - Ambiente externo (fachada)</b>	11	Sim					
<b>6. EP CIVIL USP - Prédio - Ambiente externo (pilar)</b>	12	Sim					
<b>6. EP CIVIL USP - Prédio - Ambiente interno (sala de aula)</b>	13, 15, 20	Sim	Sim		Sim		
<b>6. EP CIVIL USP - Prédio - Ambiente interno (fachada interna)</b>	16, 20, 22		Sim		Sim	Sim	
<b>7. SOROCABA - Casa - Ambiente externo (parede externa)</b>	1	Sim					
<b>7. SOROCABA - Casa - Ambiente externo (paredes externas)</b>	2	Sim					
<b>7. SOROCABA - Casa - Ambiente interno (parede)</b>	3	Sim					
<b>8. CONSTRUTIVO - Prédio - Ambiente interno (sala de escritório)</b>	19				Sim		

Fonte: a autora.

Usou-se também trena *laser* simples para conferência de medidas – a Bosch Professional GLM 40 em grande parte dos experimentos, conforme consta no APÊNDICE A.

Nesta pesquisa, foram testadas as ferramentas computacionais de visualização dos dados capturados, bem como de processamento de dados e modelagem:

- a) Matterport – visualização de fotos 360° e fotogrametria (visualização de modelo via plataforma online);
- b) Autodesk Recap Photo – fotogrametria;
- c) Agisoft Metashape – fotogrametria;
- d) Autodesk Recap – processamento e manipulação de nuvens de pontos;
- e) Faro Scene – processamento e manipulação de nuvens de pontos;
- f) Trimble RealWorks – processamento e manipulação de nuvens de pontos;
- g) Autodesk Revit – modelagem BIM.

Uma vez que o artefato proposto é um guia prático direcionado a estudantes e profissionais do mercado de AECO, os testes e experimentações serviram para validar o conteúdo a ser abordado neste manual, que tem como objetivo ilustrar conceitos e formas de aplicação de processos e técnicas para a solução de problemas típicos do contexto de reabilitação e reforma em espaços existentes, tal como a falta de informação para desenvolvimento de projetos.

Entrevistas com profissionais do mercado foram conduzidas para confirmar a conscientização do problema:

- a) Dois profissionais da área de projeto;
- b) Um profissional da área de BIM em empresa de construção e incorporação;
- c) Um profissional da área de tecnologia e gestão.

A participação em eventos acadêmicos e profissionais, bem como realização de cursos direcionados aos temas da pesquisa, serviram também de base para a obtenção de conhecimentos e dados expostos nesta pesquisa.

Ainda, questionários com profissionais e estudantes foram conduzidos, corroborando com o desenvolvimento do artefato proposto ao final da pesquisa.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica se divide da seguinte forma:

- a) Gestão de projetos;
- b) Reabilitação e reformas;
- c) BIM; e
- d) Dados e análises sobre o edifício existente.

### 2.1 Gestão de projetos

O conceito “projeto” possui distinto significado no mundo empresarial, se confrontado com o uso do termo no setor específico da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO).

No campo da AECO, a palavra “projeto” está relacionada com modelagem e desenho (bem como seus memoriais e especificações técnicas), que é o produto elaborado por arquitetos e engenheiros para servir de base para executar construções.

No âmbito da gestão, segundo Mulcahy (2013, p. 21), projeto é uma atividade temporária com um começo e um fim, e cria um produto, serviço ou resultado único. A gestão de projeto independe da área de aplicação – ou seja, pode ser aplicada a qualquer setor ou indústria – contudo os gerentes de projeto “precisam ter uma boa qualificação técnica em sua área” (VERZUH, 2000, p. 36). O inverso também é válido, pois é importante ressaltar que os profissionais de determinada área, além de terem competências técnicas específicas, geralmente necessitam “desenvolver competências mais gerenciais” (CARVALHO *et al.*, 2011, p. 11). Segundo Rabechini Jr. e Carvalho (2003 *apud* CARVALHO *et al.*, 2011, p. 13)<sup>2</sup>, gerenciar projetos “é dispor de competências individuais, em equipes e na organização, segundo estratégias bem definidas, estabelecimento de processos e efetivação de mudanças”.

---

<sup>2</sup> RABECHINI JR.; CARVALHO, M. M. **Perfil das competências em equipes de projetos**. ERA Eletrônica, São Paulo: FGV, v. 2, nº 1, p. 1-18, 2003..

Nas referências:

A gestão de projetos inclui planejamento, organização e controle de vários aspectos, como escopo, objetivo, cronograma, recursos, riscos, entre outros.

Tradicionalmente, constata-se o sucesso da gestão de projeto através da análise de aspectos essenciais: escopo, custo e prazo. Além disso, a eficácia do projeto também se baseia em questões como boa integração e comunicação entre partes interessadas, gestão da qualidade, gestão de mudança, alocação de recursos adequados, riscos gerenciados, entre outros.

O campo do conhecimento de gestão de projetos passou por revisões frequentes, incluindo metodologias ágeis, que valorizam a resposta rápida às mudanças que surgem, a relação entre as partes interessadas, o produto em funcionamento e a colaboração com o cliente (LOPES, 2015). Entre as metodologias ágeis, há o *Lean Thinking* (mentalidade enxuta) e o *Scrum*. O método de mentalidade enxuta preconiza agregar valor ao produto com custos mais baixos, melhoria contínua e envolvimento de pessoas qualificadas e motivadas. A metodologia *Scrum* baseia-se no trabalho em equipe focado no objetivo final, em que a criatividade e o desenvolvimento integrado são desempenhados em ciclos incrementais e iterativos.

Para esta pesquisa, são usados ambos os significados do termo “projeto”, ou seja, entendendo que ele abrange os campos gerenciais aplicáveis a qualquer indústria ou setor e também os conceitos relacionados ao plano e às especificações de arquitetura e engenharia.

Agregando os dois conceitos de projeto (gestão e AECO), com base no livro de Manzione *et al.* (2021, p.4), pode-se afirmar que a gestão do processo do projeto engloba diversos aspectos: estabelecimento de objetivos e parâmetros, bem como dos escopos de projeto e suas validações ao longo do processo; custos e contratações, incluindo os de projetistas; planejamento de etapas e prazos, incluindo o controle de prazos das atividades e especialidades de projeto; fomento da colaboração e comunicação entre projetistas e especialistas, a fim de haver integração entre as soluções de projeto, garantindo o sucesso nas etapas subsequentes, como execução da obra.

Já na esfera da coordenação de projetos, pode-se dizer que é um recorte, ou ainda, um subconjunto técnico da gestão do projeto, ou seja, a coordenação “[...] é uma forma de gestão focada na direção das atividades da equipe de projeto, das atividades

desenvolvidas pelos diversos especialistas que a compõem, por vezes, denominadas disciplinas de projeto [...]" (Manziona *et al.*, 2021, p.5).

Os conceitos da gestão de projetos descritos anteriormente são aplicáveis no contexto de reabilitação e reforma de edifícios. Seguem exemplos de aspectos da gestão de projetos que são de grande relevância no desenvolvimento de reformas e no trabalho dos especialistas (arquitetos e engenheiros):

- a) Na definição do escopo de reformas, por exemplo, tem-se as seguintes atividades, resumidamente – (1) levantamento e diagnóstico do edifício existente, (2) definição do programa de necessidades e (3) desenvolvimento dos projetos, memoriais e especificações técnicas, etapas estas que viabilizam a empreitada de reabilitações;
- b) A gestão de risco num projeto de renovação seria uma importante dimensão de gerenciamento no processo de projeto e modelagem, e um exemplo disto seria a redução de riscos associados à existência de dados prévios do edifício, que poderia mitigar muitos problemas, como a incompatibilidade do especificado em projeto com a execução de obra (problema de compatibilização), ou a inadequação da solução técnica aos problemas e patologias descobertos *in loco*;
- c) Pode-se destacar a relevância da gestão de recursos, ferramentas e processos para obtenção de dados do edifício existente, preconizando a eficiência, qualidade e agilidade;
- d) Importante também frisar o grande valor da capacitação técnica e dos recursos humanos que formam as partes interessadas do processo, sobretudo aquelas empenhadas diretamente no desenvolvimento de projetos e soluções arquitetônicas e de engenharia;
- e) A elaboração de contrato de prestações de serviços especializados – que designa o escopo, a capacitação técnica dos recursos humanos, os recursos ferramentais, o cronograma, as responsabilidades, os objetivos, entre outros aspectos – teria também potencial de agregar valor à gestão da reabilitação, no que toca os trabalhos de diagnóstico e desenvolvimento de projetos técnicos.

## 2.2 Reabilitação e reformas

Nesta seção de revisão bibliográfica, serão repassados conceitos sobre reabilitação e reformas de edifícios existentes, passando por tipos e escalas, razões e objetivos das empreitadas, temas como ciclo de vida, sustentabilidade, hipótese de deterioração, a influência da adaptação no ciclo de vida, questões financeiras, mercadológicas, técnicas e ambientais e por último, análise sobre os aspectos processuais de projeto de reabilitação de edifícios.

Segundo a norma NBR 16280, relacionada à reforma em edificações (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015, p. V):

As edificações cumprem funções de serviço definidas em projeto. Contudo, ao longo do tempo de serviço, existirão necessidades de ajustes, adequações a novas demandas e até mesmo recuperação de suas propriedades técnicas.

O valor agregado às edificações, seja econômico ou social, normalmente é evidenciado por características que sustentam as atividades humanas de forma estruturada, passando por gerações e fazendo história.

### 2.2.1 Definições sobre reabilitação e reforma

Os termos e definições para projetos de intervenção em edifícios existentes variam muito nas referências acadêmicas e do mercado. Para esta pesquisa, entende-se que o termo que cobre todas as ações nos edifícios existentes seria, genericamente, definido como *reabilitação ou reforma*.

#### 2.2.1.1 Tipos de reabilitação e reforma

Para Marques de Jesus (2008, p. 12-13), a reabilitação de edifícios se divide em dois grandes grupos, o primeiro relacionado às obras de restauro e patrimônio, ou seja, edifícios de valor histórico, e o segundo grupo estaria relacionado aos *retrofits* e iniciativas de manutenção e reforma. Para esta pesquisa, haverá um foco na segunda vertente.

Marques de Jesus (2008, p. 13-14) define *conservação* como “conjunto de ações destinadas a prolongar o tempo de vida útil”, envolvendo domínio sob as velhas e

novas tecnologias, materiais e métodos construtivos. Para Appleton (2003, p. 143-144), *conservação* englobaria ações para prolongar o tempo de vida de uma edificação, mediante operações regulares de manutenção, e *manutenção* seria um conjunto de operações preventivas com objetivo de manter o edifício em bom funcionamento.

Appleton (2003) define *reparação* como um conjunto de operações corretivas em anomalias existentes de forma a manter a edificação no estado original. Contudo, *reabilitação* iria além das definições anteriores, entendendo-se que as intervenções podem “fazer o reforço, ou a melhoria das características de elementos de construção ou da construção no seu todo”, englobando, por exemplo, reforços em estruturas, isolamentos térmicos, acústicos, melhoria em condições de saúde, segurança contra incêndio, conforto, ou outros padrões mais modernos e de maior qualidade demandados pela sociedade.

Para Giebeler *et al.* (2009, p. 10, tradução nossa), “[...] a reabilitação de um edifício significa adaptá-lo para atender aos novos padrões, seja devido às mudanças de demanda dos usuários ou devido às novas normas técnicas.”

Croitor (2009, p. 14-16) entende que reabilitação seria um ato de renovação, relacionando-se com ações de restauro e patrimônio bem como ações de modernização, otimização e adaptação.

Segundo a norma NBR 16280, relacionada à *reforma em edificações* (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015, p. 2), existem as seguintes definições: conservação refere-se ao “conjunto de operações que visa reparar, preservar ou manter em bom estado a edificação existente”; reforma de edificação seria definido como a “alteração nas condições da edificação existente com ou sem mudança de função, visando recuperar, melhorar ou ampliar suas condições de habitabilidade, uso ou segurança, e que não seja manutenção.”

Segundo a norma NBR 5674, relacionada à manutenção de edifícios (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 2), tem-se a seguinte definição de manutenção: “intervenção realizada na edificação e seus sistemas, elementos ou componentes constituintes”.

Para esta pesquisa, tem-se o enfoque em *reabilitação e reformas*, que podem abranger atividades de conservação, melhorias, adaptações, *retrofits*.

### 2.2.1.2 Escalas de reabilitação e reforma

Segundo Giebeler *et al.* (2009, p. 10), as intervenções nos edifícios já construídos variam quanto ao grau ou extensão da mudança – de pequenas reparos às reformas totais. Para Douglas (2006, p. 4), as escalas de adaptação e graus de mudança em edifícios existentes podem variar em três gradações, conforme Quadro 2.

Quadro 2 – Escalas de adaptação e grau de mudança de edifícios existentes

Escala de adaptação	Grau de mudança	Tipo	Exemplo
Pequena	Baixo	Pequenas melhorias superficiais. Melhoria de acessórios. Expansões pequenas.	Novos pisos, coberturas, pinturas, paredes externas. Substituição de paredes, janelas, equipamentos de cozinha e banheiro. Extensão pequena de varanda, conversão em loft.
Média	Substancial	Melhoria de superfícies e elementos. Serviços de <i>retrofit</i> maiores. Aumento de capacidade. Alterações estruturais. Maior mudança de uso do edifício antigo.	Mudança de uso de escritório para flats e vice-versa. Recuperação de telhados com melhoria de índices térmicas. Novo sistema de ar-condicionado, adição de elevadores. Extensão grande lateral ou vertical. Remoção ou adição de paredes e lajes. Conversão ou renovação em propriedade abandonada ou arruinada.
Grande	Drástico	Trabalho extensivo de remodelagem. Reconstrução de novo edifício por trás das principais paredes externas existentes. Alterações espaciais e estruturais extensivas para aumentar ou diminuir a capacidade do edifício ou mudança de uso.	Restauração de prédio de múltiplos pavimentos em ruínas. Extensão grande para mudanças internas e externas do edifício existente.



Fonte: Elaborado pela autora com base em Douglas, 2006, p. 4.

### **2.2.2 Razões e objetivos das reabilitações e reformas**

Segundo Giebeler *et al.* (2009, p. 10), as intervenções variam – podendo ter diversas ordens, como estética, técnica, funcional etc. Para Baker (2009), existem diversos motivos das empreitadas de reabilitação, dentre eles: a reposição de acabamentos e componentes degradados, a adaptação do espaço para novos usos, a melhoria da qualidade ambiental e a redução dos custos de operação.

Seguem outros exemplos de objetivos e razões para reabilitação e reformas de edifícios (DOUGLAS, 2006, p. 7-14; CROITOR, 2009, p. 22; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015, p. 1):

- a) Modificações espaciais, como ajustes de tamanho, adição com construção adjacente, combinação de espaços para formar espaço maior, redução do espaço com demolição;
- b) Mudanças quanto ao uso do edifício ou alteração de características originais quanto às suas funções, quando um edifício possui recursos direcionados a um uso não mais aderente às demandas sociais; ou quando o edifício precisará ser adequado a novas funções e atividades; ou ainda quando o usuário tem novos requisitos espaciais que demandam modernizações;
- c) Prevenção de perda de desempenho ou melhoria de desempenho e adequação das condições dos sistemas construtivos, por exemplo, adicionando ou alterando as superfícies de vedação, tal como cobertura, para melhorar resistência ao clima, estética, acústica, performance térmica do envelope; reparos para melhor resistência à umidade; reforma para resolução de danos decorrentes de chuva ou alagamento; ou ainda, entre outros exemplos, inserção de colunas ou vigas para reforçar capacidade de carga da estrutura;
- d) Atendimento às leis e normas e ações de segurança da edificação, do entorno e de seus usuários, como as ações de atendimento ao desempenho, acessibilidade, proteção à incêndio, isolamento acústico, estabilidade estrutural, eficiência térmica, entre outros;

- e) Conservação ou adequação de patrimônio histórico ou de valor para a sociedade;
- f) Melhor uso dos recursos ambientais, por exemplo, com a instalação de novos sistemas ou melhoria de sistemas existentes para adequar a eficiência energética e hídrica predial;
- g) Melhoria no desempenho financeiro imobiliário, por exemplo quando edifícios voltados para renda são reformados com o objetivo de obtenção de maior rentabilidade nos ativos; valorização para venda; ou, ainda, aprimoramento do desempenho para redução do custo operacional do edifício;
- h) Condições de financiamento incentivados, por exemplo, quando governo ou instituições privadas fornecem subsídios financeiros para reabilitar determinado prédio, por razões diversas, como por exemplo, nas ações urbanísticas de reativação de bairros antigos;
- i) Agilidade do cronograma, em casos em que remodelar é mais rápido que construir do zero.

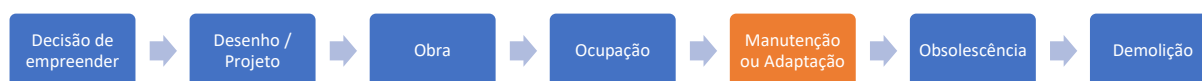
### **2.2.3 Ciclo de vida e sustentabilidade**

O ciclo de vida do edifício se refere à temporalidade do edifício em todas as suas etapas; seu conceito é majoritariamente utilizado para trazer discussões a respeito das decisões de projeto e obra em relação aos problemas detectados nas fases de operação e descarte. Analisar o ciclo de vida ajuda na avaliação adequada de todos os aspectos do edifício, não somente aqueles considerados no início do empreendimento. Comumente o ciclo de vida é analisado nas bibliografias acadêmicas no que tange ao fluxo de energia, bem como aos custos relacionados a cada etapa.

De forma simplificada, o ciclo de vida de um edifício é um modelo linear, com início, meio e fim, conforme resumido no Esquema 2, adaptado de Douglas (2006, p. 20). O edifício tem seu começo na idealização imobiliária, quando o investidor concebe estratégica e financeiramente o empreendimento (seja para uso próprio, para venda ou para renda). Depois da decisão de que irá empreender, ocorre a etapa de projeto, em que os projetistas definem uma série de questões junto com o empreendedor

(usos, funções, dimensões, materiais, sistemas, técnicas construtivas etc). Logo em seguida, ocorre a obra, com atividades executivas e construtivas. A ocupação e operação do edifício após a finalização da obra é a atividade de maior duração, que poderá ser alongada mediante atividades de manutenção, reforma e reabilitação. Por último, constata-se uma obsolescência e inadequação de difícil superação, culminando na demolição do edifício.

Esquema 2 – Modelo linear do ciclo de vida completo de um edifício



Fonte: Adaptado de Douglas, 2006, p. 20. Tradução nossa.

A narrativa a seguir feita por Mário Sérgio Pini (2011, p. 5) é bastante relevante: destaca a importância das atividades dos agentes da arquitetura, engenharia e construção, bem como dos proprietários e gestores prediais – incluindo as reformas, manutenções, atividades de gestão preditiva, diagnósticos e análises técnicas – no ciclo de vida das edificações, levando em conta o contexto urbanístico do envelhecimento dos prédios existentes e a capacidade do conhecimento humano em melhorar a utilização dos recursos financeiros e patrimoniais, além dos técnicos e ambientais.

O patrimônio construído no Brasil começa a envelhecer em larga escala. A verticalização das grandes cidades ocorreu, de forma predominante, entre as décadas de 1950 e 1970. E, a exemplo do que já acontece há muito tempo nos países desenvolvidos, o crescimento da população nas metrópoles não é mais o mesmo. [...] Eventuais equívocos de planejamento urbano à parte, percebe-se claramente uma tendência de reurbanizar áreas centrais, preservar o patrimônio edificado e, enfim, questionar a cultura nacional de privilegiar as obras novas. [...] Ou seja, surge um novo e poderoso mercado para retrofit, revitalizações urbanas, recuperações, reformas e restaurações. Para isso, entretanto, será necessário repensar a forma como a manutenção das edificações é gerida em todo o País. O imprevisto, a falta de planejamento, a ausência de rigor técnico e a informalidade precisam dar lugar à gestão da manutenção preditiva, ao check-up técnico e à análise de desempenho, de eficiência ambiental e de durabilidade de materiais e sistemas construtivos. [...] Riscos como a elevação dos custos de manutenção, a insegurança dos usuários, a desvalorização patrimonial e a descontinuidade na operação dos edifícios devem ser combatidos com mais engenharia embarcada durante todo o ciclo de vida das nossas edificações.

Da mesma forma que Mário Sérgio Pini, o estudo de Baker (2009, p. 2, tradução nossa) também chama a atenção para as questões dos estoques imobiliários, no cenário europeu:

Há um estoque de muitos edifícios na Europa e, para repor este estoque, levaria décadas e incorreria um peso financeiro irreal. Esta reposição criaria uma grande contribuição de emissões de CO<sub>2</sub>, como resultado da energia associada à produção de materiais e da construção da reposição de edifícios. Por isso, é importante desenvolver estratégias e tecnologias que melhorem o desempenho [...]

Sob a ótica da sustentabilidade, a temporalidade e duração das edificações suscitam análises importantes para pesquisas relacionadas à reabilitação e reforma de edifícios. São desejáveis as atividades que alonguem o ciclo de vida, melhorando a eficiência do uso de recursos, bem como trazendo melhor adaptação aos ocupantes. Segundo Agopyan *et al.* (2011, p. 85):

Não existe sustentabilidade sem durabilidade. A durabilidade dos produtos influencia decisivamente no tempo em que a construção vai prestar serviços e a quantidade de recursos na manutenção. Em consequência, define o impacto ambiental, mas também social e econômico.

Será ilustrado adiante (seção 2.2.3.4) os aspectos positivos e negativos das reabilitações em comparação com prédios construídos do zero. Em resumo, a sustentabilidade das reabilitações e reformas reside em: menor geração de resíduos e poluentes, menor consumo de materiais e menor custo por ano de serviço prestado.

### **2.2.3.1 Hipótese da deterioração**

Para o arquiteto modernista checo Adolf Loos, "uma mudança que não seja uma melhoria é uma degradação".

Croitor (2009, p. 19), da mesma forma, afirma que "as edificações naturalmente estão em constante processo de degradação".

Segundo a NBR 15575-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 6), "degradação é a redução do desempenho devido à atuação de um ou de

vários agentes de degradação”, sendo o agente de degradação “tudo aquilo que age sobre um sistema, contribuindo para reduzir seu desempenho”.

Conforme Douglas (2006, p. 27, tradução nossa) define em seu livro intitulado *Building Adaptation*, “a hipótese da deterioração se apoia na condição de que um prédio tende a ficar pior” caso seja abandonado ou não seja mantido, ou seja, o edifício possui tendência de decadência e desintegração.

Em resumo, na natureza, nada é eterno e tudo se transforma, havendo uma tendência de que os materiais ou o desempenho dos produtos se degradem ao longo do tempo. Contudo, a velocidade de deterioração “depende de inúmeros fatores, muitos dos quais podem ser controlados” (AGOPYAN *et al.*, 2011, p. 86). Segundo os autores, alguns dos fatores de degradação são: exposição ao meio (temperatura, umidade, poluição), exposição ao uso (carregamentos e esforços, abrasão, contatos com reagentes químicos), atuação de seres vivos (fungos, bactérias, insetos, vegetais etc.). Além disso, também há a ação humana, que altera o meio e o uso e pode contribuir para maior velocidade da deterioração.

### **2.2.3.2 A influência da adaptação no ciclo de vida da edificação**

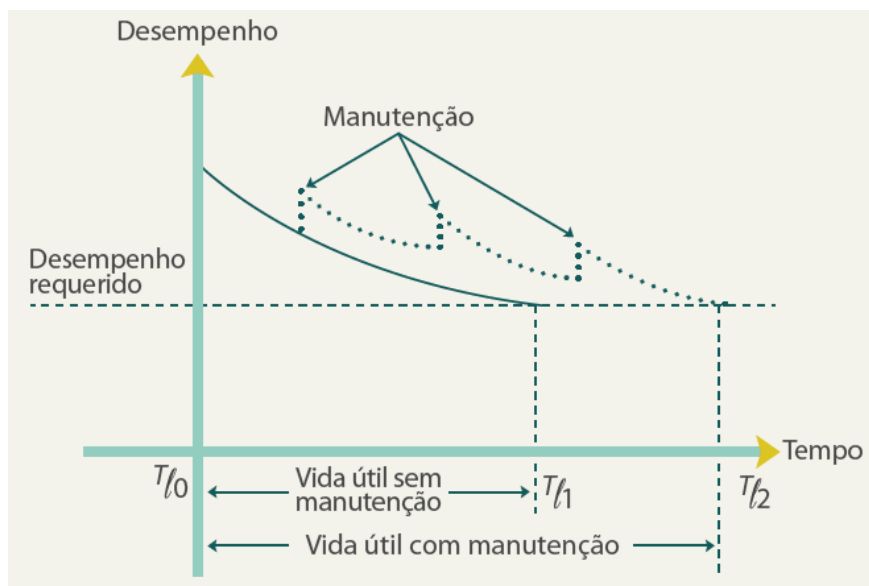
A obsolescência das construções pode se relacionar com a existência de espaços antiquados por razões tecnológicas, funcionais, sociais, legais, estéticas etc, ou também ter relação com o processo de deterioração, decorrente de circunstâncias do meio e do uso (decadência física e dano causado).

Os edifícios tendem a reduzir suas capacidades de atendimento às necessidades e funções desejadas – ou projetadas – ao longo do tempo, de forma que uma atividade de reabilitação ou diversas de manutenção e reparo possam prolongar o tempo de uso da edificação.

Segundo o guia de desempenho de edificações (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2013, p. 33), define-se que o termo “durabilidade” é o tempo esperado em que um produto cumpre “as funções a que foi destinado, num patamar de desempenho igual ou superior àquele predefinido”. Conforme expresso

no Gráfico 1, atividades de manutenção recuperam o desempenho ao longo do tempo e alongam a vida útil do produto.

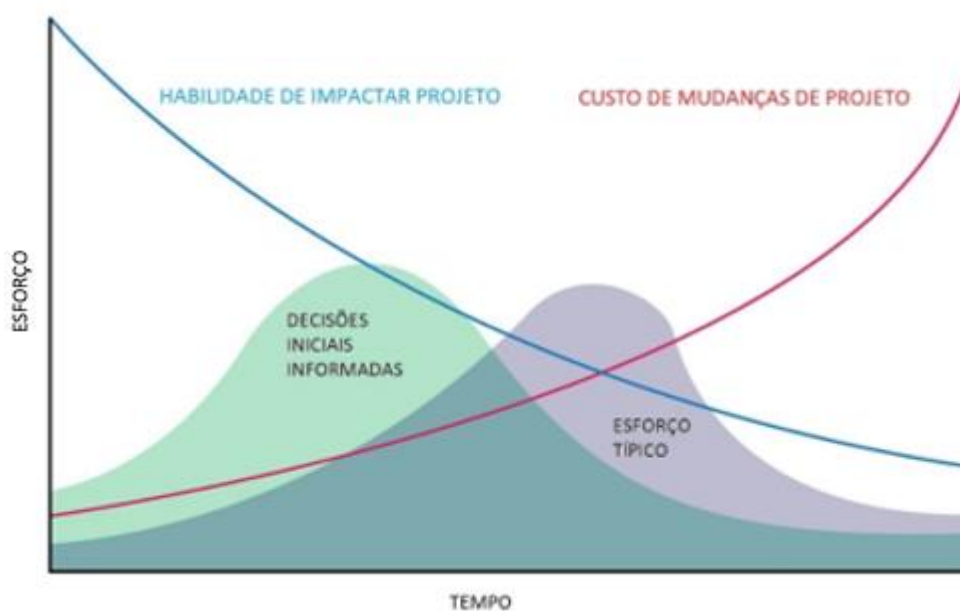
Gráfico 1 – Recuperação do desempenho por ações de manutenção



Fonte: CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2013, p. 33.

O processo de adaptação do edifício em seu ciclo de vida deve considerar os esforços não só técnicos e financeiros, mas também os projetuais. Nas bibliografias sobre BIM e processos de projeto – as quais serão aprofundadas na seção 2.3.3 – há a citação da Curva de MacLeamy (Gráfico 2) que, de modo resumido, se pode definir da seguinte forma: quanto mais o tempo passa, maiores são os esforços para mudar projetos. Pode-se fazer a analogia desta curva com o ciclo de vida: tanto em etapas de concepção quanto em etapas de projeto de reabilitação e reforma, havendo agilidade e propriedade (informação e embasamento) nas tomadas de decisão, haverá também menor esforço no processo de projeto e melhor resultado nas fases de operação da edificação, devido às boas escolhas tomadas no tempo adequado.

Gráfico 2 – Curva de MacLeamy (Esforço versus Tempo)



Fonte: C2AE Architecture / Engineering. Tradução nossa.

### 2.2.3.3 Questões financeiras da reabilitação e mercado imobiliário

Quanto às questões econômicas, "normalmente é mais barato adaptar um edifício existente do que demolir e reconstruir" (DOUGLAS, 2006, p. 15, tradução nossa). Isso se deve ao fato de que o reaproveitamento de recursos e infraestruturas torna o investimento no edifício construído mais barato. Contudo, os custos de manutenção são maiores em edifícios antigos, podendo tornar a reabilitação pouco atrativa. Ademais, os custos de operação – como aqueles relacionados à eficiência energética – podem aumentar à medida que o prédio envelhece, tornando mais uma vez os custos de readequação pouco atrativos. No fim, "a solução mais econômica para construir não é a mais barata, mas a que apresenta o menor custo global" (AGOPYAN *et al.*, 2011, p. 89).

Em empreendimentos imobiliários para venda e uso e nos empreendimentos voltados para renda, as partes interessadas possuem análises diversas quanto às finanças.

No mercado de venda, o empreendedor centra sua análise no fluxo de caixa das etapas de conceituação, projeto, obra e venda, portanto não teria interesse direto nos fluxos de recursos de capital das etapas de operação, reabilitação, reforma e

demolição. Por isso, nestes tipos de empreendimento, a transferência de responsabilidade da manutenção, durabilidade e operação ocorre aos poucos, passando do time de empreendedores e investidores, para o time de compradores, proprietários, operadores e ocupantes. Neste caso, o time de compradores “financia e opera o produto” (LIMA JR., 2011, p. 314). Claramente há um conflito de interesses entre os times dentro da fase de transferência de responsabilidade, cabendo às partes interessadas o entendimento e o respeito às normas e leis que apoiam a definição dos responsáveis pelo investimento das atividades de manutenção e reabilitação, como em casos de execução de garantias. Uma vez que a transferência completa de responsabilidade sob o bem patrimonial é feita para o time de compradores, ele será o maior interessado em manter o desempenho do imóvel e o lastro do investimento; contudo, não necessariamente contará com o conhecimento técnico suficiente para executar manutenções e reabilitações, devendo, portanto, contratar especialistas.

Já no mercado de rentistas, “o foco do empreendedor é receber renda por meio da exploração do espaço físico edificado” (LIMA JR., 2011, p. 314) e por isso, a análise financeira é centrada em duas coisas: sustentação do valor como lastro do investimento (ou seja, quanto vale o imóvel) e a capacidade de geração de fluxo de renda estável. Assim, fica claro que espaços mais adequados aos inquilinos, com bom estado de conservação e eficiência – além de outros fatores imobiliários baseados em localização e facilidades – terão melhor resultado e rentabilidade, por isso o empreendedor terá maior interesse em desempenhar ações de manutenção e reabilitação – afetando diretamente no alongamento do ciclo de vida e no menor custo global do empreendimento. Mesmo assim, haverá conflitos de interesses entre proprietário e locatário, fazendo com que as responsabilidades técnicas e financeiras se equilibrem conforme o “termômetro” do mercado de cada momento – num momento de baixa procura por espaços para aluguel, os preços de locação descem e as responsabilidades de investimento em reforma tendem a pesar para o proprietário, e vice-versa para o cenário oposto. De qualquer forma, edifícios envelhecidos e inadequados perdem valor de mercado, por isso a flexibilidade e capacidade de adaptação do edifício trazem benefícios financeiros e técnicos de longo prazo para os empreendimentos (VARGAS *et al.*, 2014). Segundo Miles *et al.* (2007, p. 5-6), descreve-se o seguinte:



Gestores precisam recomercializar espaço continuamente e melhorar ou remodelar edifícios periodicamente para manter o espaço competitivo, num mercado em evolução. Investidores institucionais e proprietários corporativos também estão cientes da necessidade constante por remodelações para prolongar a vida econômica dos edifícios.

#### **2.2.3.4 Aspectos técnicos e ambientais da reabilitação**

Há vantagens e desvantagens nas empreitadas de reforma de edifício existente, se são comparadas com construções novas.

Tecnicamente, a vantagem das reabilitações está relacionada ao fato de que as estruturas e sistemas construtivos podem ser reaproveitados. Contudo, a desvantagem se dá no fato de que alguns defeitos, deficiências, obsolescências podem ser difíceis de resolver. Além disso, o atendimento às normas técnicas e leis vigentes podem se tornar um empecilho para modernizações edilícias, uma vez que o prédio existente por vezes possui restrições espaciais e construtivas que não estão em conformidade com os padrões atuais e que são difíceis de superar. Outro desafio dos projetos de reabilitação de edifícios construídos é o risco associado às informações desses edifícios existentes e sua relação direta com vários aspectos, tais como (1) a base para estimativa de custos, (2) a base projetual e as dimensões existentes, e também (3) a falta de informação sobre as condições de performance do edifício (DORAN, 2009, p. 21-22). Ou seja, a incerteza sobre os dados do edifício existente configura num risco do processo de projeto e obra de reforma.

Analisando os aspectos ambientais da reabilitação de edifícios, segundo Agopyan *et al.* (2011, p. 89), ao ampliar a vida útil da construção existente, é reduzida a demanda por insumos naturais, a produção de resíduos, bem como os impactos energéticos e os poluentes decorrentes de processos produtivos e de transporte:

Um aumento de vida útil implica uma redução de velocidade do fluxo de materiais. Em consequência, a demanda por matérias-primas e a geração de resíduos e todos os impactos associados ao processamento e ao transporte são reduzidos. Considerando o grande consumo de materiais de construção, um aumento da vida útil da estrutura construída traz uma redução importante na geração de resíduos e no consumo de materiais.

## 2.2.4 Processos projetuais da reabilitação de edifícios

Projetos de reabilitação e reforma estão entre os mais arriscados, complexos e incertos para gerenciar (LIANG *et al.*, 2015, p. 13823). Isso se deve a diversos motivos, como a falta de dados existentes, a falta de um processo estruturado para a colaboração entre profissionais da construção, a alta fragmentação do setor (muitos participantes) e também maior necessidade de interações entre partes interessadas. Segundo Egbu, Remington e Pollack (1994 e 2008 *apud* OKAKPU *et al.*, 2018, p. 472)<sup>3</sup>, na Grã-Bretanha, 80% dos problemas de qualidade do projeto de reabilitação ocorrem devido à dificuldade de gerir o processo de projetar, nos aspectos técnicos e sociais. Projetos de reabilitação são complexos pois tem coordenação especializada.

Segundo a NBR 16280 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015, p. 2), todos os serviços de reforma devem ter um plano formal de diretrizes contemplando uma série de regras e apresentando determinados dados, onde se destaca a necessidade de conter, entre outros itens, os conteúdos a respeito de documentação projetual:

- a) Descrição de impactos nos sistemas, subsistemas, equipamentos e afins da edificação;
- b) Atendimento às leis vigentes e normas técnicas pertinentes;
- c) Desenhos, memoriais descritivos e referências técnicas;
- d) Localização e implicações no entorno da reforma;
- e) Documento de responsabilidade técnica; e
- f) Implicações sobre o manual de uso, operação e manutenção.

Com objetivo de atender à norma de reformas quanto ao processo projetual, há de se perceber a diferença entre um projeto convencional de construção nova com um projeto de intervenção em edifício existente.

---

<sup>3</sup>Egbu, C. O. 1994. **Management Education and Training for Refurbishment Work Within the Construction Industry**. Manchester: University of Salford.

Remington, K., and J. Pollack. 2008. Complex Projects: What are they and How Can We Manage them More Effectively? **Paper presented at the AIPM Project Management Conference**.

Na gestão de projetos de reabilitação de edifícios, há uma grande interdependência entre questões de projeto e edifício existente, uma vez que a edificação existente pode ter grande impacto no planejamento arquitetônico e técnico. Projetos em edifícios existentes são fundamentalmente diferentes de projetos novos, pois o planejamento de um processo para uma nova estrutura é abstrato até que o trabalho comece no terreno, mas o ponto de início de uma conversão é um edifício existente (GIEBELER *et al.*, 2009, p. 22), ou seja, o processo começa na “investigação dos problemas do edifício existente.” Segundo Croitor e Melhado (2009, p. 6, p.15), geralmente os projetos e obras de reforma são feitos concomitantemente, havendo uma retroalimentação de dados e revisão contínua e repetitiva dos desenhos e atividades, ou seja, este tipo de processo é mais complexo, diferente do encontrado em prédios novos. Uotila *et al.* (2018, p. 1) afirmam que reformas contêm mais riscos técnicos e econômicos que um projeto novo; igualmente, Croitor e Melhado (2009, p. 14) apontam que a reabilitação de edifícios pode oferecer mais riscos de atraso do projeto e obra, bem como mais riscos orçamentários, devido à carência de informações prévias ou até mesmo à falta de índices financeiros dos serviços a serem executados. Segundo Okakpu *et al.* (2018), os desafios da reabilitação são muitos, como a própria complexidade da natureza de projeto, com seus riscos e incertezas, além dos desafios relacionados ao próprio processo de projeto e obra, atrasos de projeto, estouros de orçamento, engajamento fraco dos *stakeholders* (partes envolvidas) e falta de colaboração.

Para se ter um processo de renovação mais racional e eficiente, Croitor e Melhado (2009, p. 9) idealizam um maior tempo dedicado ao projeto, sobretudo à etapa pré-projeto, composta por diagnóstico e levantamento de campo, pois, “quanto menos eficiente é [esta etapa], maior a probabilidade da existência de problemas na etapa de execução”. Por exemplo, dados e medições incorretas do edifício existente podem trazer inúmeros problemas, como: (1) custos adicionais, (2) redução da qualidade final da obra, (3) erros de projeto e fabricação, (4) tempo de projeto estendido (UOTILA *et al.*, 2018, p. 1). Obter os dados necessários para a viabilidade da reabilitação torna-se, portanto, essencial.

Croitor (2009, p. 35) aponta em sua dissertação sobre a relação entre projeto e obra no processo de gestão, dizendo que a interação entre equipes de projeto e obra pode ser ainda maior em reabilitações que em construções novas.

Pesquisas como as de Uotila *et al.* (2018), Scherer *et al.* (2018) e Volk *et al.* (2013) fazem análises de como a pré-existência do edifício impacta no processo projetual da reabilitação. Os autores nomeiam a etapa pré-projeto da reabilitação de formas diferentes: Uotila *et al.* (2018, p. 1) chamam de aquisição de dados; Scherer *et al.* (2018, p. 54) indicam esta etapa de projeto de anamnese e diagnóstico; Volk *et al.* (2013, p. 119) chamam de captura e processamento de informações. Estas pesquisas indicam métodos e técnicas para melhor levantamento da pré-existência, como o escaneamento a *laser* (EL), a fotogrametria, o tratamento de nuvem de pontos (NP), e o uso de processos e ferramentas BIM.

Concluindo, os processos projetuais de reformas devem ser especializados, com enfoque no cuidado na obtenção de dados existentes, no diagnóstico de danos, patologias e potenciais de melhoria, bem como na definição de premissas de intervenção que viabilizem a concepção de projeto e os detalhamentos técnicos.

## **2.3 BIM**

Nesta seção de revisão bibliográfica, serão repassados os principais conceitos sobre BIM, passando por definições e benefícios destes processos e ferramentas, descrições de usos potenciais do BIM e breve avaliação do uso BIM nas reabilitações; descrevendo conceitos do BIM em etapa de projeto, também enfocando o projeto de reabilitação.

### **2.3.1 Definições sobre BIM e seus benefícios**

*Building Information Modelling* (BIM) é definido pelo Decreto Federal nº 9.983, de 22 de agosto de 2019, como

[...] o conjunto de tecnologias e processos integrados que permite a criação, a utilização e a atualização de modelos digitais de uma construção, de modo colaborativo, de forma a servir a todos os participantes do empreendimento, potencialmente durante todo o ciclo de vida da construção.

Outra definição do BIM é a seguinte: “o BIM é um conjunto coordenado de processos, suportado por tecnologia, que agrega valor mediante o compartilhamento de informação estruturada para edifícios e infraestruturas” (*BIM Acceleration Committee*, 2019, p. 4, tradução nossa), contendo um ambiente mais rico que as abordagens tradicionais e possuindo informações de projeto, construção, logística, operação, manutenção, orçamentos etc.

Eastman *et al.* (2014, p. 13) definem BIM “como uma tecnologia de modelagem e um conjunto associado de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construção”. Para definição mais detalhada, os autores abordam outros termos e benefícios, a serem aprofundados ao longo de todo o livro (*Manual de BIM*), conforme resumidamente expostos a seguir:

- a) os objetos paramétricos (definições geométricas com dados e regras associados, bem como diferentes níveis de agregação e hierarquia de informação);
- b) a colaboração da equipe do empreendimento (importação e exportação de dados mediante a interoperabilidade dos dados entre os times, seja a partir de padronizações proprietárias – *softwares* de mesma família – ou de código aberto – IFC ou *Industry Foundation Classes*);
- c) os benefícios do BIM na etapa dominada pelo proprietário antes da construção (modelos aproximados e esquemáticos com parâmetros iniciais de custos, análise de requisitos funcionais e de sustentabilidade);
- d) as melhorias nos processos de projeto (visualização antecipada da construção, correções automatizadas, extração de desenhos precisos e consistentes, colaboração entre múltiplas disciplinas e especialistas, verificação de diversas métricas e atendimento aos requisitos);
- e) as vantagens de fabricação (simulação gráfica da obra ao longo do tempo mediante a vinculação dos objetos projetados com o planejamento da construção, descoberta de erros e omissões de projeto, adaptações de projetos frente aos problemas enfrentados em canteiro, facilitação da fabricação automática, dados para planejamento de compras de materiais); e
- f) os benefícios pós construção (fonte de informações para gerenciamento e operação dos edifícios, integração com sistemas informatizados de operação e facilidades, atualização com todas as modificações feitas).

Eastman *et al.* (2014, p. 1) descrevem que o “BIM incorpora muitas das funções necessárias para modelar o ciclo de vida de uma edificação”. Na seção 2.3.2, serão apresentados exemplos de usos BIM desempenhados pelo mercado.

### 2.3.2 Usos BIM

Segundo o site BIMinNZ (apêndice D), existem 21 usos relacionados ao BIM, conforme Quadro 3.

Quadro 3 – Usos BIM

Usos BIM		
Modelagem das condições existentes	Análise de engenharia (energia, iluminação, estrutura, outros)	Controle e Planejamento 3D
Estimativa de custos	Avaliação de Sustentabilidade	Modelagem de registro (histórico, <i>as built</i> )
Planejamento de fases (Modelo 4D)	Validação de código (leis, regras)	Gestão de ativos
Programa espacial	Coordenação 3D	Programação de manutenção preventiva de edifícios
Análise do terreno	Planejamento de utilização do terreno	Análises de sistemas prediais (BMS)
Revisão de projeto	Projeto de sistemas construtivos	Controle e gestão de espaços
Autoria de projeto	Fabricação digital	Planejamento de desastres

Fonte: Adaptado de BIMinNZ – Appendix D. Tradução nossa.

Já o site *BIM Excellence Initiative*, desenvolvido por um grupo e liderado pelo pesquisador e consultor Bilal Succar, lista mais usos para os modelos BIM – 125

possibilidades – organizados em três categorias e nove séries. As categorias e séries definidas por Succar são:

- a) Usos de modelo gerais – séries 1000 a 1990;
- b) Usos de modelo por domínio – séries 2010 a 8070; e
- c) Usos de modelo específicos (combinação das categorias 1 e 2) – séries 9000 a 9990.

Os usos listados por Succar e equipe (adaptado de BIM EXCELLENCE INITIATIVE, tradução nossa), de maior conexão e relevância para esta pesquisa sobre reabilitação, são:

- a) Usos de modelo gerais
  - a. Modelagem de arquitetura (1010)
  - b. Modelo de conservação histórica (1060)
  - c. Modelo de renovação / reabilitação / *retrofit* (1340)
- b) Usos de modelo por domínio
  - a. Captura e representação (série/domínio 2010)
  - b. Representação conforme construído – *As built* (2030)
  - c. Escaneamento a *laser* (2050)
  - d. Fotogrametria (2060)
  - e. Modelagem de registro (2070)
  - f. Topografia (2080)
- c) Operação e Manutenção (série/domínio 6010)
  - a. Inspeção do edifício (6040)

Conforme explicado anteriormente, existem diversos usos potenciais do BIM. Sabe-se que alguns usos são mais frequentes que outros. Volk *et al.* (2013) comentam que os usos BIM se concentram nas fases de planejamento, projeto e construção. Segundo um estudo feito pela *Penn State* por Kreider *et al.* (2010 *apud* LEUSIN 2018, p. 27)<sup>4</sup>, conforme Tabela 1, tem-se frequência maior de uso do BIM para coordenação

---

<sup>4</sup> RALPH KREIDER, JOHN MESSNER AND CRAIG DUBLER. “Determining the Frequency and Impact of Applying BIM for Different Purposes on Building Projects”, in **Proceedings of the 6th International Conference on Innovation in Architecture, Engineering and Construction (AEC)** (Penn State

3D (60%), revisão (54%) e desenvolvimento de projeto (42%). Para modelagem de condições existentes, foi detectada a frequência de 35%, para gestão de espaços e monitoramento, 21%, e para manutenções, 5%.

Tabela 1 – Frequência de usos BIM

<b>Uso do BIM</b>	<b>Frequência</b>
Coordenação 3D	60%
Revisão de projeto	54%
Desenvolvimento do projeto	42%
Projeto da solução construtiva	37%
Modelagem de condições existentes	35%
Planejamento e controle 3D	34%
Programação de serviços	31%
Planejamento 4D (custos e prazos)	30%
Registros de modelagem	28%
Utilização do canteiro	28%
Análise do canteiro/implantação	28%
Análise estrutural	27%
Análise energética	25%
Orçamentação	25%
Avaliação de sustentabilidade LEED	23%
Análise de sistemas construtivos	22%
Gestão de espaços/monitoramento	21%
Análise mecânica	21%
Validação de regulamentos e legislação	19%
Análise lumínica	17%
Outras análises de engenharia	15%
Fabricação digital	14%
Gestão de ativos	10%
Programação de manutenção	5%
Planejamento de atendimento a desastres	4%

Fonte: Kreider *et al.* (2010 *apud* LEUSIN, 2018, p. 27).

University, University Park, PA, USA, 2010), <http://www.engr.psu.edu/ac/AEC2010/> acesso em 20/08/2018.



### **2.3.2.1 Usos potenciais do BIM para reabilitação de edifícios sob a ótica de projetistas e proprietários**

O BIM, conforme Eastman *et al.* (2014), apresenta diversas vantagens processuais e ferramentais para projetos de edifícios, como a capacidade de parametrizar dados construtivos e criar regras de modelagem, conter informações em objetos da edificação, o intercâmbio de dados entre pessoas da equipe e plataformas, padronização de elementos e bibliotecas, quantificação e orçamentação, planejamento de canteiro de obras, a visualização em 3 dimensões, entre outras.

Para esta pesquisa, haverá enfoque em dois grandes grupos envolvidos nos processos de projeto de reforma de edifícios existentes: os projetistas (especialistas da área de arquitetura e engenharia) e os proprietários (ou seus representantes, como operadores e equipes de gestão de facilidades).

Conforme explicado anteriormente, o BIM é mais frequentemente utilizado por projetistas na coordenação 3D, revisão e desenvolvimento de projeto, segundo Kreider *et al.* (2010 *apud* LEUSIN 2018, p. 27). Segundo Eastman *et al.* (2014, p. 148), o BIM representa uma mudança de paradigma se comparado com os processos tradicionais de projeto. Destacam-se, entre os muitos benefícios, “a consistência entre todos os desenhos e relatórios, a automatização da análise de interferência espacial”, além de uma boa base para análises e simulações, bem como a visualização do edifício em diferentes escalas e fases.

Ademais, o processo projetual se beneficia da característica colaborativa do modelo BIM (facilitação na comunicação entre partes interessadas com base em um modelo digital) e da integração fácil entre as equipes de projeto, características estas que compõem o que é chamado de interoperabilidade. Com os esforços de organizações, incluindo empresas desenvolvedoras de softwares, criou-se a *buildingSMART International* e uma padronização de compartilhamento de dados de construção e facilidades – o IFC - *Industry Foundation Classes*. Para esta pesquisa, é apenas relevante saber que o IFC é o padrão de referência para troca de dados, havendo muitos softwares compatíveis, de diferentes funções e disciplinas de conhecimento.

É importante destacar que, quanto à coordenação de projeto, o modelo BIM evolui e é revisado conforme a fase do projeto e as especificações e detalhamentos adicionados (BIM in NZ - BIM Acceleration Committee, 2019, p. 7), ou seja, ao longo do tempo de desenvolvimento de projeto, mais dados podem se somar ao modelo (LEUSIN, 2018, p. 46).

Em projetos de reabilitação de edifícios, conforme explorado na seção 2.2.4, os processos devem ser especializados, com atenção à obtenção de dados existentes, ao diagnóstico de danos, de patologias e de potenciais de melhoria, bem como na definição de premissas de intervenção que viabilizem a concepção de projeto e os detalhamentos técnicos. No ambiente de projeto em BIM, especializa-se ainda mais o desenvolvimento do projeto da reforma, sobretudo nos casos em que os dados existentes não estão expressos num modelo BIM, exigindo um esforço de obtenção dos dados necessários para a intervenção e também um esforço na modelagem da existência, viabilizando posteriormente as especificações e projetos técnicos da reforma. Uma vez que grande parte dos edifícios existentes são anteriores ao período das práticas de desenvolvimento de projeto BIM, isso resulta no fato de que a maior parte dos edifícios não tem um modelo BIM *As designed* ou *As planned* (modelos gerados em fase de projeto), nem modelos *As built* ou *As is* (modelos gerados ao final da obra e durante a operação, respectivamente).

Esforços para modelar a realidade da construção seriam compensados nas etapas posteriores de projeto de reabilitação, que obteriam os benefícios dos processos BIM já descritos anteriormente. Segundo Tang *et al.* (2010, p. 830), o processo de obtenção de dados com técnicas avançadas e a modelagem BIM contribuiriam “reduzindo a possibilidade de atrasos inesperados e custosos durante a construção”.

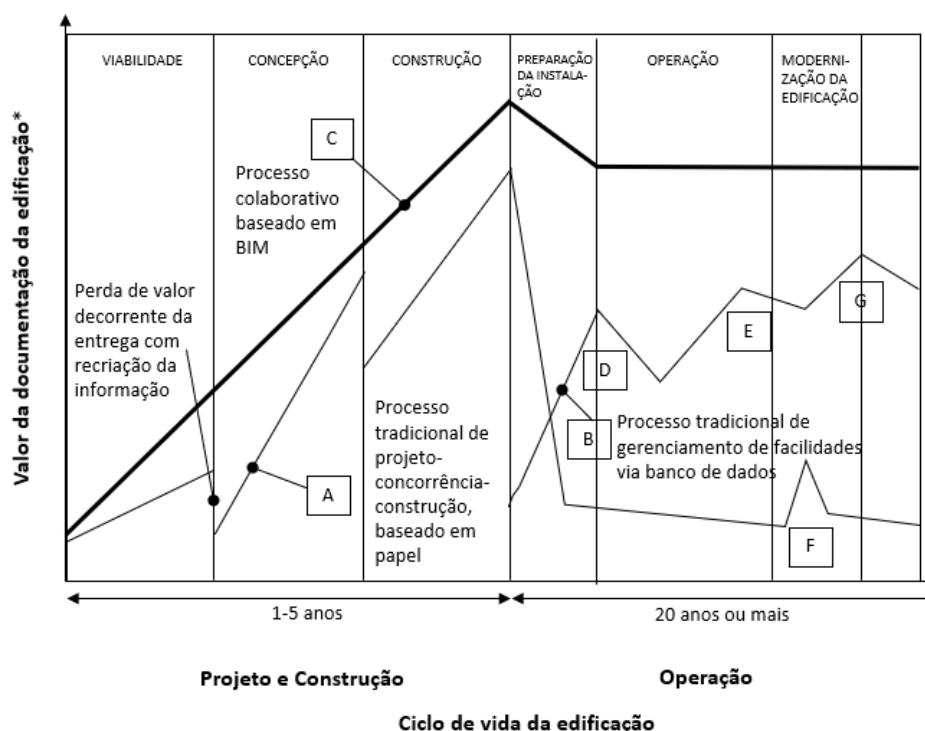
No que tange o grupo de proprietários e pessoas envolvidas na operação e manutenção de edifícios, a aplicação do BIM nesta etapa do ciclo de vida “ainda está em seus primeiros passos” (LEUSIN, 2018, p. 13). Tem-se uma frequência menor de uso do BIM em edifícios existentes e operantes, conforme os exemplos descritos anteriormente (modelagem de condições existentes teria 35% de uso, gestão de espaços e monitoramento, 21%, e manutenções, 5%).

Contudo, entende-se que se poderia obter grandes benefícios no emprego do BIM nesta fase – sobretudo quando há um acúmulo de dados nas etapas anteriores

(projeto e obra) – viabilizando o proveito das informações nas atividades desempenhadas na operação e manutenção do edifício – como informações sobre o edifício em formatos digitais (BIM IN NZ - BIM ACCELERATION COMMITTEE, 2019, p. 8), o acesso às instruções de operação e manutenção quando imputados ao modelo BIM (LEUSIN, 2018, p. 40), entre outros benefícios. Segundo Volk *et al.* (2013), alguns dos potenciais do BIM, no que toca o diagnóstico e a captura de dados, seriam: maior certeza nos dados, objetos e relações entre elementos modelados; dados relacionados aos danos, defeitos e deterioração de elementos; informação de geometrias desviadas, como pisos e paredes irregulares e não ortogonais. Ainda, Volk *et al.* (2013) colocam alguns benefícios BIM dos *retrofits*, como obtenção de dados de custo de reparo a partir do modelo e o entendimento de dependências e precedências nas atividades de manutenção.

Entretanto, como se vê no Gráfico 3, o que de fato ocorre no mercado é uma “perda de valores dos ativos informacionais ao longo das fases e um maior esforço para produzir informação” (Eastman *et al.*, 2014, p. 95). Neste gráfico, a curva A (processo tradicional de documentação) demonstra que na fase de operação há uma desvalorização documental e, portanto, um esforço maior para retomar a obtenção de dados necessários para reabilitações, conforme é observado na letra “F” (utilização da documentação *as built* para modernizações). Já na curva C (processo colaborativo baseado em BIM), a operação tem pouca perda informacional, contribuindo para o processo de modernização da edificação e favorecendo as atividades dos proprietários. Para Volk *et al.* (2013, p. 110, tradução nossa), “informação faltante ou obsoleta sobre o edifício pode resultar em gestão de projeto ineficiente, resultados processuais incertos, perda de tempo e aumento de custos em processos de *retrofit*, manutenção e remediação”. Deve-se, portanto, haver uma conscientização do grupo dos proprietários para que engajem seus contratados na manutenção da informação ao longo do ciclo de vida, sendo o BIM um ótimo processo para tal.

Gráfico 3 – O valor da documentação da edificação para proprietários ao longo do tempo, nos ciclos de Projeto, Construção e Operação



\*A inclinação da linha indica o esforço necessário para produzir e manter a informação

D) Configuração de banco de dados de gerenciamento de facilidades  
 E) Integração do Gerenciamento de Facilidades com sistemas de gestão empresarial  
 F) Utilização da documentação "as-built" para modernizações  
 G) Atualização do banco de dados de gerenciamento de facilidades

A) Processo tradicional, com documentação baseada em projetos e estágio único. B) Sistema de banco de dados tradicional para gerenciamento de facilidades. C) Entregas de documentação baseadas em BIM ao longo de todo o processo de projeto e operação. Fonte: adaptado de Eastman *et al.* (2014, p. 95)

### 2.3.3 Conceitos de projeto BIM

A seguir serão apresentados conceitos de projetos BIM, como fases de projeto, níveis de desenvolvimento, tipos de modelos, implantação de processos BIM em escritórios de projeto e plano de execução de projeto BIM.

#### 2.3.3.1 Fases de projeto, níveis de desenvolvimento, tipos de modelos

A seguir serão apresentadas algumas definições para a etapa de desenvolvimento de projetos, que é uma anterior à construção ou à reabilitação e que inclui desenhos e especificações técnicas.

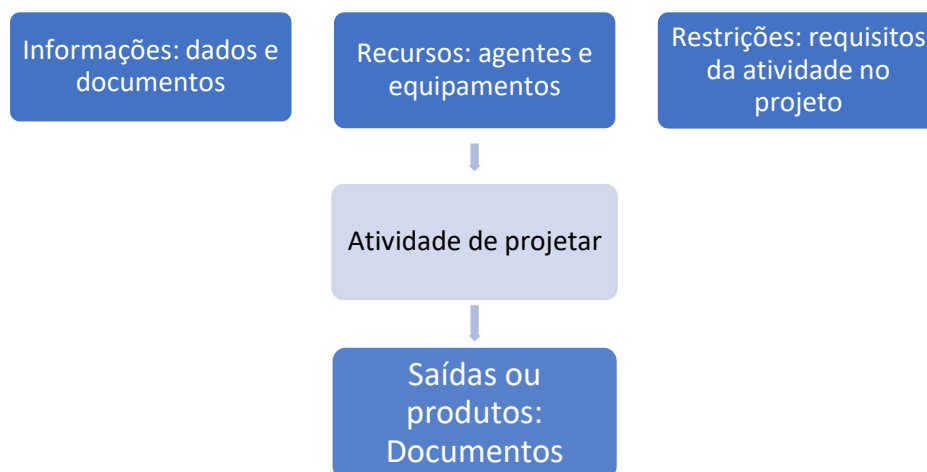
Segundo a norma NBR 16636-1 de 2017 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017, p. V), os projetos “são desenvolvidos por meio de uma abordagem evolutiva, caracterizada por etapas e fases”. No processo tradicional de projeto baseado em desenho, existem diversos marcos temporais, etapas ou fases, que são os níveis de evolução de projeto (NEP). A primeira etapa é relacionada à preparação (incluindo levantamento de informações, programa de necessidades e requisitos) e as demais fases compõem os diferentes NEP gerais de geometria e especificações (estudo preliminar, anteprojeto, projeto básico, projeto executivo, projeto para produção ou liberado para obra e projeto *as built*); contudo em processos BIM, segundo Leusin (2018, p. 31),

[...] existe uma clara tendência a reduzir o número de etapas e condensar as informações. Como um dos pilares do BIM é a antecipação dos problemas e em decorrência, a entrada dos diversos especialistas mais cedo, as etapas, seja qual for a denominação que tenham, recebem mais conteúdo.

Segundo a Curva de MacLeamy (Gráfico 2) e também conforme Leusin (2018, p. 89) explica, existe uma clara vantagem em “antecipar esforços nos projetos”. Comparando o processo usual de projeto desenhado em CAD com o projeto em BIM, a curva ilustra que “no início do projeto BIM teremos uma demanda de homens-hora maior em relação ao projeto CAD, mas que o volume total de horas [...] é menor no processo BIM” (LEUSIN, 2018, p. 89). A vantagem de antecipar os esforços de projeto, segundo Eastman (2014, p. 153), é aproximá-los “ao valor das decisões tomadas durante o processo de projeto e construção”, uma vez que a habilidade de impactar ou definir os custos de um empreendimento é maior nas fases iniciais de projeto e que, conforme mais o tempo passa, mais custosas ficam as alterações de projeto.

É importante também tratar sobre a atividade de projetar e os resultados atingidos. Para o processo de projeto habitual, o Esquema 3 ilustra os recursos necessários (informações, pessoas e equipamentos, restrições e requisitos), resultando nas saídas ou produtos do processo, os documentos de projeto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017, p. 16). Já em projetos desenvolvidos em BIM, a atividade de projetar tem dinâmicas diferentes e as saídas não se restringem a documentos. Os modelos BIM são produtos da atividade de projetar, mas também acabam definindo um processo que influencia a própria atividade projetual.

Esquema 3 – Fluxograma de atividade técnica de projeto convencional



Fonte: Adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017, p. 16.

Para cada disciplina projetual, existe um modelo BIM, o qual é chamado de Modelo de Autoria e contém dados, componentes, famílias de propriedade intelectual do projetista. O Modelo de Autoria não é um produto entregável, contudo espera-se que o processo BIM seja integrado e que haja troca de informações entre projetistas de disciplinas diferentes. Para isso, tem-se o Modelo de Coordenação, que tem os dados suficientes para que o time faça uma análise das questões importantes e dos conflitos. Por fim, existe o Modelo Federado, que é o conjunto de vários Modelos de Coordenação dos diferentes profissionais e disciplinas, compondo uma visão completa do empreendimento. Geralmente o Modelo de Coordenação e o Federado são expressos em IFC devido à facilidade de leitura e uso dos dados pelos diferentes aplicativos e softwares.

Além dos modelos BIM descritos anteriormente, há o *As built*, que é representado conforme construído. O Modelo *As built* é importante para informar aos interessados os dados relevantes para fase de operação e manutenção do edifício. Ainda, há o modelo *As Is*, que seria atualizado na etapa de operação predial, conforme alterações e manutenções são executadas.

Descrevendo alguns tipos de modelos BIM, pode-se constatar que eles não se delimitam aos marcos temporais de entrega e aos níveis de evolução do projeto (NEPs). Desta forma, criou-se outro conceito: o Nível de Desenvolvimento (*Level of Development - LOD*). Em resumo, o LOD refere-se ao nível de confiabilidade das

informações, ou melhor, à quantidade de informação confiável que pode ser extraída do modelo BIM. O LOD se relaciona ao grau de detalhamento apresentado pelo modelo, tornando-se uma forma de padronizar o seu conteúdo nos diferentes estágios de projeto e construção. Segundo este guia, existem os seguintes LOD (ASSOCIATED GENERAL CONTRACTORS OF AMERICA, 2019, p. 14, tradução nossa):

- a) LOD 100: um símbolo ou representação genérica, em que qualquer informação sobre os elementos é considerada uma aproximação.
- b) LOD 200: elemento de modelo representado por sistema, objeto ou componente genérico com quantidades, tamanhos, formatos e orientações aproximadas, podendo também conter informações não gráficas ligadas ao modelo.
- c) LOD 300: elemento de modelo representado por sistema, objeto ou componente específico em termos de quantidades, tamanhos, formatos, localizações e orientações que podem ser extraídos do modelo. Pode também conter informações não gráficas ligadas ao modelo.
- d) LOD 350: o modelo contém os mesmos dados que o de LOD 300, adicionando o fato de que possui interfaces com outros sistemas do edifício, ou seja, possui as partes necessárias para a coordenação do elemento com outros elementos próximos e ligados ao modelo. Estas partes incluem suportes e conexões.
- e) LOD 400: elemento de modelo representado dentro do modelo como sistema, objeto ou componente específico em termos de quantidades, tamanhos, formatos e orientações com informações de detalhamentos, fabricação, montagem e instalação. Dados podem ser extraídos do modelo. Elemento pode também conter informações não gráficas ligadas ao modelo.
- f) LOD 500: elemento de modelo representado conforme verificado em campo em termos de tamanho, formato, localização, quantidade e orientação. Elemento pode também conter informações não gráficas ligadas ao modelo.

O nível de evolução do projeto (NEP) não pode ser confundido com o nível de desenvolvimento (LOD). Modelos BIM “são compostos por elementos de diversos níveis de detalhe” (LEUSIN, 2018, p. 24), podendo contemplar LODs diferentes para cada elemento num mesmo momento. Segundo Leusin (2018, p. 24), “a única

exceção a esta regra é o modelo *as built* [...] que se caracteriza por ter todos os seus componentes verificados na obra, ou seja, eles devem corresponder exatamente ao que foi executado”. Sendo o NEP avançado, é muito provável que vários elementos do modelo BIM sejam LOD 300, contudo é possível que um projeto liberado para obra tenha elementos LOD 100.

Definir metas e a quantidade de informação esperada em cada marco temporal é um dos motivos para que gestores ou coordenadores de projeto desenvolvam um Plano de Execução BIM (conceito que será aprofundado na seção 2.3.3.3). Estas metas devem estar alinhadas com os objetivos e usos pretendidos para o modelo BIM.

### **2.3.3.2 Implantação de processos BIM em escritórios de projeto**

A implantação de BIM em empresas especializadas de projeto deve considerar aspectos tecnológicos e humanos. O investimento em tecnologia (equipamentos e softwares) deve ser acompanhado de recursos humanos treinados e capazes de implementar os processos de projeto BIM para consolidar a implantação. Segundo Leusin (2019, p. 8), “para o sucesso do BIM é necessário investir em infraestrutura tecnológica, mas principalmente em pessoas”.

A gestão de projeto BIM possui dimensões diversas, conforme listados a seguir, entre outros aspectos a serem considerados na implantação.

- a) escopo, definição de entregáveis e padronizações;
- b) qualidade;
- c) partes interessadas e relações colaborativas;
- d) plataformas de comunicação;
- e) custos e recursos subcontratados;
- f) cronograma, fases e atividades;
- g) processos e fluxos de trabalho;
- h) ferramentas de trabalho;
- i) bibliotecas de dados.

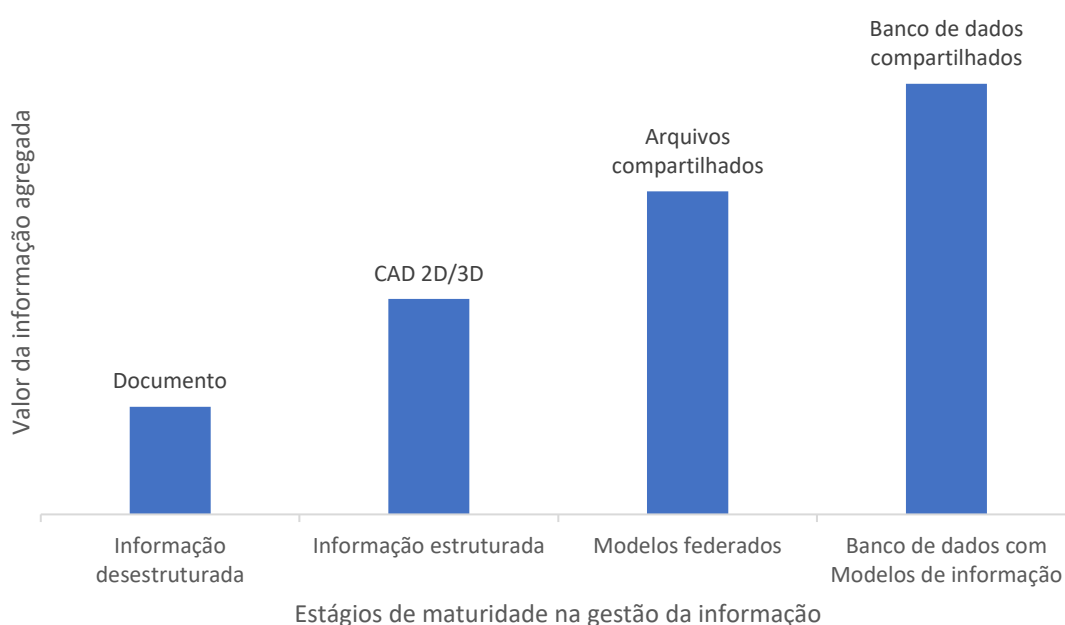
É importante que os times de projetos conheçam os benefícios e desafios da implantação de processos BIM e antecipem estas questões nas fases iniciais da



implantação. Da mesma forma, ao fim do processo de implementação, é importante haver fase de crítica, validação e readequar os processos quando necessário.

Conforme pode-se ver no Gráfico 4, o estágio de maturidade do tratamento da informação no projeto depende de questões técnicas e também organizacionais, sendo o pior dos estágios caracterizado por informação desestruturada e processo imprevisível, e o melhor cenário composto por informações estruturadas, processos definidos e monitoramento e controle para melhoria do fluxo de trabalho.

Gráfico 4 – Valor da informação agregada nos estágios de maturidade na gestão da informação



Fonte: Adaptado de Leusin, 2018, p. 28-29.

O *BIM Excellence Initiative* conduziu pesquisa direcionada para definir uma matriz de maturidade BIM dividida em 5 partes (níveis de maturidade): inicial, definido, gerenciado, integrado e otimizado. Estes níveis consideram diversos aspectos, como recursos tecnológicos, recursos de conhecimento, fluxo de trabalho, liderança e gerenciamento, entre outros. Para cada aspecto, encontra-se um nível de maturidade com descrições e caracterizações.

### 2.3.3.3 Plano de execução de projeto BIM

A intenção de um plano de execução BIM é prover a informação e garantir que as partes envolvidas estão claramente cientes das oportunidades e responsabilidades associadas ao projeto com implementação BIM (*BIM in NZ - BIM Acceleration Committee – Appendix H, p. 2*).

O plano de execução BIM “resume os objetivos, responsabilidades e produtos ao longo de todo o processo e deve fazer parte da documentação contratual das partes envolvidas” (LEUSIN, 2018, p. 67), colocando também o que cada participante deverá fazer em cada etapa do empreendimento. Além disso, o plano deve conter as metas e usos BIM previstos em todo o ciclo de vida do edifício, bem como a definição do processo de comunicação, as ferramentas usadas e os requisitos de qualificação da equipe de projetos.

Segundo *Computer Integrated Construction Research Program* (2013, p. 45-47), um plano de execução de projeto BIM deve contemplar metas e objetivos da empresa de projeto, usos BIM potenciais relacionados às metas, entregáveis, LOD, questões contratuais, problemas específicos do projeto, como processos e fluxos de trabalho esperados.

A norma ABNT NBR ISO 19650-1 de 2022, que diz respeito à gestão da informação de ativos durante o ciclo de vida (incluindo fases de concepção, projeto, obra, renovação e adaptação, bem como operação e manutenção), contém diretrizes relevantes para planos de execução BIM e pode ser de grande valia para gestão de projeto e contratação de partes interessadas; segundo a norma (2022, p. 7), “[...] empreendimentos envolvem trabalhos executados em ativos existentes [...]. É recomendado que estes empreendimentos incluam alguma informação preexistente do ativo que dê suporte ao desenvolvimento dos requisitos e escopo de projeto e que esteja à disposição das contratadas que trabalharão no empreendimento”. O objetivo da norma é propor uma gestão da informação organizada e colaborativa. Conforme menciona Manzione *et al.* (2021, p. 53), com base na norma, “o nível de informação necessário para cada pacote entregável deve ser determinado de acordo com o seu propósito de uso”, devendo conter requisitos de qualidade, quantidade e granularidade da informação (nível de informação necessário), aspectos os quais possuem forte

relação com projetos de reabilitação; ainda, segundo o autor (2021, p. 54), a definição do entregável deveria contemplar: formatos de produção e entrega da informação; estruturação e classificação; atributos, como propriedades de elementos construtivos.

Segundo Manzione *et al.* (2021, p. 56), os elementos essenciais do plano BIM devem contemplar: objetivos e usos da modelagem; processo de projeto; formas de troca de informação com o uso da modelagem; infraestrutura necessária; procedimentos de controle de qualidade de modelos e documentos.

### **2.3.4 Projeto de reabilitação e reforma BIM**

Apesar de haver no mercado demanda para melhorar os edifícios existentes, o uso do BIM e outras tecnologias em renovações e *retrofits* ainda está em sua infância (SCHERER, 2018, p. 54). Eastman *et al.* (2014, p. 330), autores e profissionais relevantes da área do BIM, afirmam que:

[...] é muito cedo para especular sobre os possíveis efeitos positivos que o BIM poderá trazer para sua operação. É evidente que tal representação detalhada dos elementos estruturais e técnicos trará um benefício considerável, não só para a gestão do edifício, como em uma eventual expansão ou alterações futuras.

Segundo Okakpu *et al.* (2018, p. 470), há uma baixa adoção do BIM em projetos de reforma e isso se deve a alguns motivos, como o fato de que os “clientes indicam falta de conhecimento sobre tecnologias de reabilitação” e de que os “profissionais da construção indicam falta de habilidade e práticas fragmentadas”. Desta forma, proprietários e contratantes de serviços desconhecem e por isso com frequência não exigem processos BIM em seus projetos de reforma, ao passo que projetistas também tendem a não implementar estas práticas. A baixa participação de gestores de facilidades e pessoas da área de reabilitação e reforma nos debates sobre BIM é uma das razões para que haja pouca aderência. Para Okakpu *et al.* (2018), a colaboração é ponto chave para o sucesso do projeto e da implementação do processo e ferramentas BIM, ou seja, o engajamento das partes envolvidas na evolução das metas e soluções propostas é essencial, influenciando também na minimização de erros e na tomada de decisão antecipada para o projeto de renovação de edifícios.

Existiriam quatro pilares, conforme o estudo de Okakpu *et al.* (2018), para a adoção do BIM em projetos de reabilitação e reforma:

- a) Incentivar a interação entre partes interessadas num ambiente BIM;
- b) Controlar os fatores de projeto, como recursos do cliente, recursos tecnológicos (como os relacionados à reabilitação), informações sobre o edifício;
- c) Atribuir as características da reabilitação, definindo os atributos de qualidade num ambiente BIM;
- d) Otimizar o processo, usando o tradicional como base para o projeto do novo, relacionado ao BIM, entendendo os benefícios.

Klein *et al.* (2012, p.161) indicam que o BIM poderia fornecer benefícios à operação do edifício, por exemplo, representando no modelo a localização dos componentes prediais, fornecendo auxílio na verificação da manutenibilidade, bem como suportando o planejamento e estudo de viabilidade para pequenas reformas. O método proposto por Santos (2017, p.122), por exemplo, aplica alguns dos conceitos mencionados por Okakpu, conforme descrito anteriormente, visto que sugere uma forma de gerir informações do edifício existente, incluindo dados da manutenção predial dentro de um ambiente virtual (plataforma integradora) e dentro do modelo BIM; tais dados poderiam ser “referências técnicas relacionadas ao diagnóstico e recuperação de elementos construtivos com manifestações patológicas”, bem como “projetos, especificações e registros de manutenção”, ou até mesmo “planilhas e relatórios” orientativos para reparo frequente e informações que ajudem na “definição do tipo de intervenção” (SANTOS, 2017, p.122).

Contudo, há de se observar que um passo importante para que os benefícios do BIM sejam aproveitados no contexto de reformas é a modelagem do edifício existente, visto que frequentemente não há modelo BIM (*As built* ou *As is*) no parque predial atual, portanto, sendo necessário o levantamento de dados para criação deste modelo, que poderia servir de base para projetos de reforma.

Há várias ferramentas disponíveis para captura de dados em edifícios existentes, como levantamento com equipamentos topográficos (estação total), com ferramentas a *laser*, com câmeras fotográficas, entre outros, bem como existem diversas técnicas de tratamento e uso destes dados, como a fotogrametria e o processamento de nuvens de pontos. Nesta pesquisa, alguns destes equipamentos e destas técnicas são abordadas conceitualmente na seção 2.4 Dados e análises sobre o edifício existente e experimentalmente na seção 3.1 Testes e experimentos. Antecipando algumas das questões abordadas nestas seções, especificamente nos casos do

escaneamento a *laser* e da fotogrametria, o dado resultante do levantamento em campo é a aquisição de dados e posterior criação de nuvens de pontos (dados espaciais dos elementos construtivos registrados *in loco*), feitas ou processadas através de programas computacionais especializados. É importante ressaltar que tais técnicas necessitam, em diferentes graus, de investimento em equipamentos, computadores e softwares, bem como em treinamento para habilitação profissional no uso das mesmas. Após a criação de nuvem de pontos, é possível usar os dados para modelagem BIM, processos os quais também necessitam de trabalho de pessoas capacitadas para planejamento e desenvolvimento do modelo BIM (VOLK *et al.*, 2013). Portanto, a capacitação humana para o entendimento das tecnologias, ferramentas e processos adequados ao projeto da reabilitação é ponto chave para o sucesso da iniciativa. O mercado atual já utiliza, mesmo que com pouca frequência, alguns destes recursos. As figuras a seguir (Figura 1, Figura 2 e Figura 3) mostram alguns exemplos de aplicação.

O grau de automatização dos processos, sobretudo no uso da nuvem de pontos como base para modelagem BIM, pode variar. Segundo Tang *et al.* (2010, p. 831), a criação de um modelo BIM *as built* é “um processo majoritariamente manual, desempenhado por provedores de serviços que são contratados para levantar e modelar uma facilidade”. Técnicas manuais de modelagem BIM, em que a visualização e uso da informação espacial e geométrica serviram de base para executar o modelo, foram exploradas nesta pesquisa, na seção 3.1 Testes e experimentos. Contudo, pesquisas acadêmicas e programas computacionais mais recentes demonstram que há uma busca por maior automatização do processo de transformação dos dados de nuvem de pontos para um modelo BIM. Um exemplo é o *plug-in Faro PointSense* para *Autodesk Revit* (substituído posteriormente por nova versão e nome, “*As-Built for Autodesk Revit*”), que auxilia no reconhecimento de componentes construtivos, tais como planos de paredes, através de um processo semiautomático de identificação destes componentes com base na nuvem de pontos, para posterior desenho automático dos elementos BIM (FARO, YouTube). Pesquisas como de Wang *et al.* (2015) e de Romero-Jarén *et al.* (2021) também são exemplos de proposições de métodos de automatização do reconhecimento de componentes baseados em nuvem de pontos, em que processos como detecção de limites geométricos, segmentação de planos, categorização do elemento do edifício são testados.

Apesar de haver diversos métodos avançados de captura de dados, processamento e modelagem BIM, é importante mencionar que somente serão úteis existindo objetivos claros do projeto. Assim, a definição dos dados necessários para a modelagem BIM (ou um plano BIM de captura de dados) auxiliará no entendimento de escopo a ser diagnosticado e representado, as partes responsáveis, os recursos, as metas do empreendimento e da reabilitação, entre outros aspectos.

Figura 1 – Escâner a *laser* da Trimble em fase de captura do Edifício da Engenharia Civil da USP (São Paulo – SP)



Fonte: a autora.

Figura 2 – Nuvem de pontos da Capela da Fazenda Veneza (Valinhos – SP) visualizada no *software* de registro Faro Scene



Fonte: a autora.

Figura 3 – Nuvem de pontos e modelo BIM



Fonte: BIM4K. Disponível em: <https://bim4k.com/escaner-3d/>. Acesso em: 29 mar. 2020.

O assunto do projeto de reforma de edifícios existentes em BIM é mais explorado na seção 2.4.5 Uso de dados capturados e modelagem em BIM para projetos de reabilitação e reforma.

## **2.4 Dados e análises sobre o edifício existente**

A captura de dados e o desenvolvimento de análises sobre os edifícios existentes são ferramentas e insumos para o processo de projeto de reabilitação. Segundo Dezen-Kempter *et al.* (2015, p. 114-115), o levantamento habitual se pauta nos seguintes aspectos:

O levantamento de edifícios existentes é um processo de engenharia reversa que, a partir das informações obtidas do objeto real, se reconstrói e interpreta a ideia anterior a sua realização, ou seja, o seu projeto. Esses processos dependem fortemente de levantamentos manuais para o desenvolvimento de desenhos e modelos. A verificação das condições de construção existentes, incluindo suas dimensões, materiais e estado, são realizadas comumente

através de levantamentos de campo que utilizam câmeras digitais, fitas métricas e/ou dispositivos de medição a *laser*.

Já em levantamentos com base em técnicas avançadas, os projetos ou modelos BIM *As built* ou *As Is* de reabilitação e reforma podem ganhar informação a partir da inserção de dados e das análises feitas por especialistas. Assim, o modelo de projeto de renovação teria base em dados conforme o nível de confiabilidade exigido.

Além do termo “engenharia reversa”, o mercado da AECO também tem citado o conceito dos “gêmeos digitais”, que são ferramentas e processos para visualização imersiva da realidade, com dados operacionais e potenciais usos para modelagens e simulações realistas. Segundo a Bentley, “o gêmeo digital é uma representação digital de um ativo físico, processo ou sistema, que nos permite entender e modelar seu desempenho”.

Conforme descrito anteriormente, existem várias razões para a iniciativa de reforma (seção 2.2.2), sendo estas razões de origem humana (por exemplo, necessidade de adequação espacial a novos usos e demandas) ou técnica (por exemplo, recompor os materiais construtivos após degradação natural). Em análises sobre os ocupantes e formas de interação com o edifício existente, existem algumas metodologias de obtenção de dados, tal como a Avaliação Pós-Ocupação. Já em observações técnicas, existem também análises do estado de conservação e diagnósticos que ajudam no exame da construção e posterior reforma – podendo ocorrer mediante investigações visuais e relatórios espaciais e textuais, ou ainda com auxílio de equipamentos, como as estações totais, trenas *laser*, luxímetros, escâneres e radares, entre outros. Ainda, no caso dos processos BIM, existem tecnologias particulares – como os dados capturados em nuvem de pontos obtidos com capturas por escaneamento a *laser* e fotogrametria.

Independente da técnica empregada para a obtenção de dados, é importante definir os objetivos da captura da informação. Segundo Groetelaars (2015, p. 54), é necessário definir “os aspectos do projeto de documentação”, tais como “nível de detalhe requerido; recursos disponíveis, relacionados a equipamentos e programas computacionais bem como as habilidades profissionais; tempo disponível; e resultados desejados, incluindo a organização e a apresentação dos dados”.



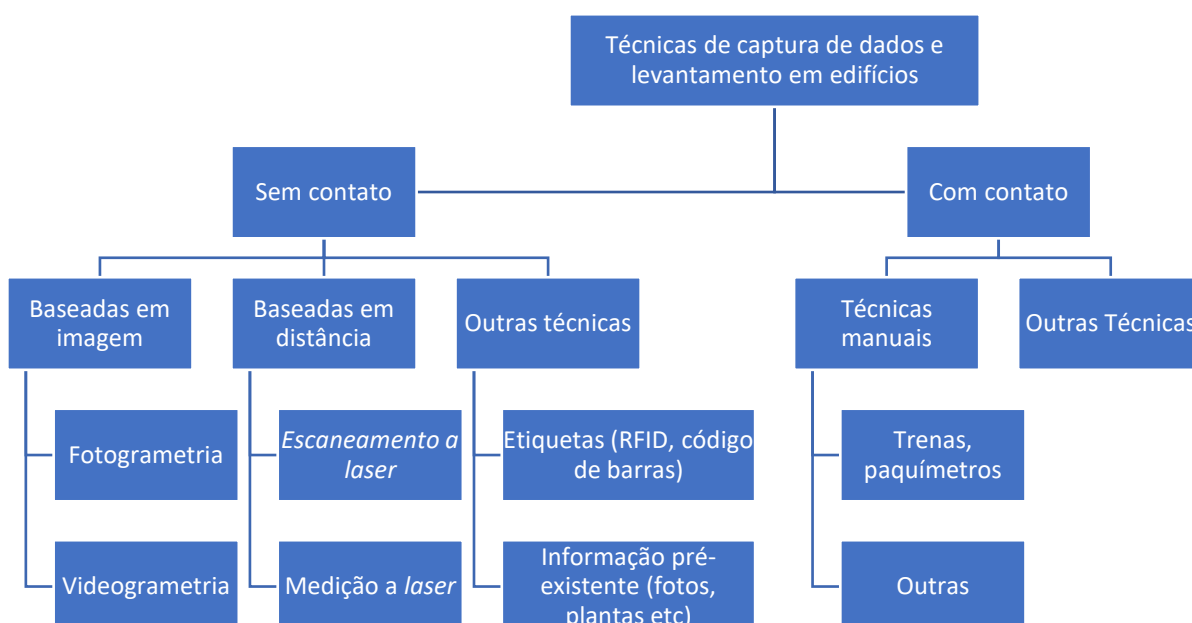
### 2.4.1 Levantamentos dimensionais e geométricos

Entre os dados mais importantes no projeto de reabilitação, estão as dimensões e a geometria espacial dos elementos construtivos existentes. A seguir, são tratadas algumas ferramentas e tecnologias relevantes para projetos de reforma de edifícios existentes.

As ciências da medição e a topografia são tradicionais, remontando à história antiga da humanidade, e se baseiam nas artes de medir distâncias, ângulos, posições e áreas. Levantamentos dimensionais são também baseados em princípios matemáticos e geométricos. Existem vários níveis de captura, como as mais preliminares e gerais ou as mais precisas e detalhadas. A definição de equipamento (de acurácia e confiança do dado capturado) depende do objetivo do uso do dado, do nível de conhecimento de quem levanta os dados *in loco* e dos princípios científicos que utiliza, como também das ferramentas que utiliza para a captura (KAVANAGH, 2003).

Conforme o Esquema 4, existem técnicas de captura de dados com contato e sem contato, sendo exemplos as trenas e os paquímetros (técnicas manuais com contato) e o escaneamento a *laser* e a fotogrametria (técnicas sem contato baseadas em captura de dados de distâncias e imagens, respectivamente).

Esquema 4 – Técnicas de captura de dados e pesquisa em edifícios



Fonte: Adaptado de Volk *et al.*, 2013. Tradução nossa.

Entre as ferramentas habituais de medição e verificação geométrica em edifícios, existem as trenas e fitas, trenas *laser* (Figura 4), paquímetros manuais e digitais, medidores de ângulos, esquadros, níveis, prumos, teodolitos, estações totais, entre outros. As ferramentas usuais são capazes de atender às demandas simplificadas de medição, contudo, em casos em que há necessidade de levantamentos de objetos mais complexos, “[...] acabam tornando-se [...] um método caro, moroso e incapaz de registrar fielmente as peculiaridades de todos os componentes arquitetônicos da edificação” (DEZEN-KEMPTER *et al.*, 2015, p. 114).

Figura 4 – Trena *laser*



Fonte: Conecta. Disponível em: <http://conectafg.com.br/trenas-a-laser/>. Acesso em: 19 abr. 2020.

Segundo Dezen-Kempter *et al.* (2015, p. 115), técnicas avançadas de varredura, tais como o escaneamento a *laser* e a fotogrametria, permitem “coletar grande densidade de informações de forma rápida, registrando com precisão a forma real dos objetos, suas irregularidades e imperfeições”. Além disso, estas técnicas possibilitam levantamentos em situações de acesso limitado e/ou perigoso.

O Quadro 4 compara técnicas de escaneamento a *laser* e fotogrametria com técnicas manuais (trena convencional e trena *laser*); D’Angelo *et al.* (2022, p. 8) elaborou este quadro, porém não detalha a definição dos parâmetros de comparação relativa entre equipamentos; seria possível aferir, resumidamente e com base nos experimentos descritos nesta pesquisa (seção 3.1 Testes e experimentos), o seguinte: “acurácia” representaria o nível de precisão do dado obtido frente ao valor real; “custo” seria

referente à aquisição das ferramentas; “tempo” representaria a duração da atividade de captura em campo; “incorporação BIM” definiria a capacidade de utilizar os dados capturados em modelos BIM; “grau de experiência” retrataria o nível de treinamento e capacitação da pessoa ou equipe envolvida na captura de dados. Outros autores também fizeram em suas pesquisas comparações entre escaneamento a *laser* e fotogrametria, como o Quadro 5, elaborado por Volk *et al.* (2013); neste caso, também não foram esclarecidos os parâmetros de comparação, contudo, também é possível estimar o seguinte: “aplicabilidade em edifícios existentes” representaria a capacidade de uso nestes tipos de edifícios; “custo”, “tempo” e “precisão espacial LOD” teriam as mesmas definições anteriores; “influência do tamanho e da complexidade da cena” retrataria o nível de influência que parâmetros ambientais, em termos de volume de dados, poderiam exercer frente à capacidade do equipamento; “capacidade de importação para BIM” seria a possibilidade de incorporação dos dados em modelo BIM; “volume de informação” representaria a quantidade de dados que poderiam ser gerados em nuvem de pontos; “grau de automação” seria o nível de capacidade dos processos de captura e processamento serem automatizados, dependendo pouco da interação humana; “operabilidade” definiria o nível de facilidade de operar o equipamento, baseado no grau de experiência e treinamento humano; “portabilidade do equipamento” representaria o nível de facilidade de carregar e manusear a ferramenta; “durabilidade e robustez do equipamento” seria o nível de resistência do equipamento a avarias e grau de necessidade de cuidados de forma a mitigar sensibilidades da ferramenta. Outros autores também compararam as técnicas de fotogrametria DSM e escaneamento laser, conforme a citação a seguir e o Quadro 6 que foi baseado na pesquisa de Groetelaars e Amorim (2012, p. 364):

[...] podemos identificar algumas vantagens do DSM [fotogrametria Dense Stereo Matching] com relação à tecnologia *3D Laser Scanning*: (1) baixo custo, necessitando basicamente de uma câmera digital e um programa específico para processamento das imagens; (2) facilidade de transporte, uma vez que requer o deslocamento apenas da câmera no momento da tomada fotográfica; (3) flexibilidade de uso, podendo ser aplicado no levantamento de pequenos ou grandes objetos, próximos ou bastante afastados da câmera, uma vez que o princípio de funcionamento é o mesmo; (4) obtenção direta da textura (pela foto) e de elevada qualidade, sem necessidade do mapeamento da foto sobre a nuvem de pontos obtida por varredura a *laser*.

Quadro 4 – Comparações relativas de diferentes técnicas de aquisição no setor de prédios

		Automático		Manual	
		Fotogrametria	Escaneamento a laser	Medidas de trena	Trena laser
<b>Acurácia</b>		alta	alta	média	baixa
<b>Custo</b>		médio	alto	baixo	baixo
<b>Tempo campo]</b>	<b>[em</b>	baixo	médio	alto	médio
<b>Incorporação BIM</b>		sim	sim	não	não
<b>Grau de experiência</b>	<b>de</b>	médio	médio	baixo	baixo

Fonte: D'Angelo *et al.* (2022, p. 8). Tradução nossa.

Quadro 5 – Comparações entre escaneamento a laser e fotogrametria

Características decisivas	Escaneamento a laser	Fotogrametria
<b>Aplicabilidade em edifícios existentes</b>	Sim	Sim
<b>Custo</b>	Alto	Médio
<b>Tempo [em campo]</b>	Médio	Rápido
<b>Precisão espacial. LOD</b>	Alta	Alta
<b>Influência do tamanho e da complexidade da cena</b>	Alta	Alta
<b>Influência das condições ambientais</b>	Alta	Alta
<b>Capacidade de importação para BIM</b>	Sim	Sim
<b>Volume de informação</b>	Alto	Médio
<b>Grau de automação</b>	Médio	Médio
<b>Operabilidade</b>	Baixa	Média
<b>Portabilidade do equipamento</b>	Baixa	Alta
<b>Durabilidade e robustez do equipamento</b>	Média	Alta

Fonte: Volk *et al.*, 2013. Tradução nossa.

Quadro 6 – Comparações entre escaneamento a *laser* e fotogrametria

<b>Características decisivas</b>	<b>Escaneamento a <i>laser</i></b>	<b>Fotogrametria <i>Dense Stereo Matching</i></b>
<b>Custo</b>	Maior	Menor
<b>Facilidade de transporte de equipamentos (portabilidade)</b>	Menor	Maior
<b>Flexibilidade de captura (objetos grandes, pequenos, próximos ou distantes)</b>	Menor	Maior
<b>Obtenção de nuvem de pontos texturizada (cor real dos materiais)</b>	Necessidade do mapeamento das fotos sobre as nuvens de pontos	Direta (processamento de fotos)
<b>Geração de nuvem de pontos</b>	Em campo	Processada em computador

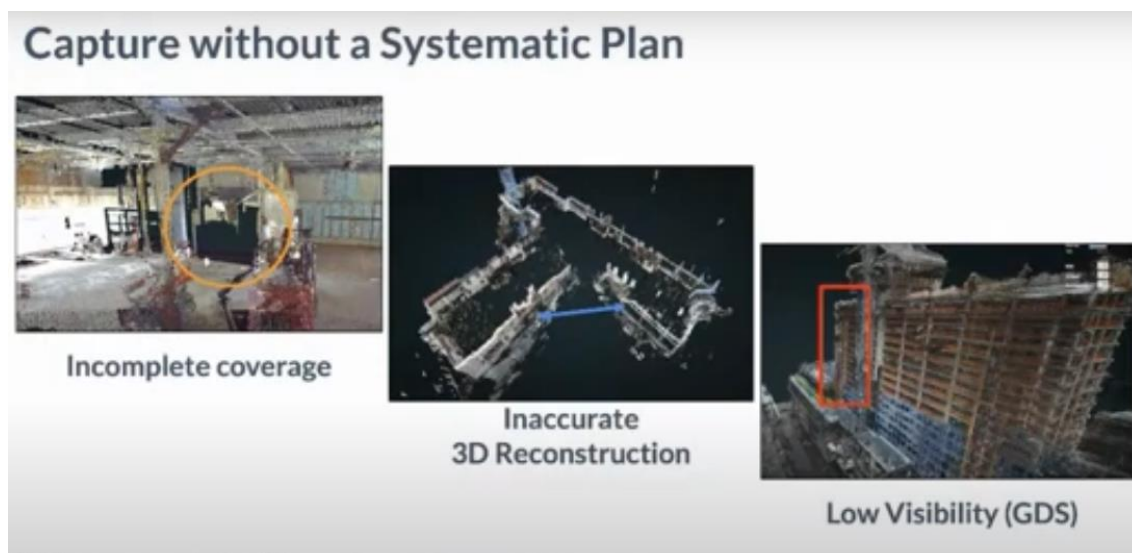
Fonte: Baseado em Groetelaars e Amorim, 2012, p. 364.

A escolha da tecnologia a usar para levantar geometrias e dimensões – métodos convencionais, equipamentos avançados de fotogrametria e escaneamento a *laser*, entre outros – deverá variar conforme as condições – recursos financeiros, tecnológicos, temporais e situações impostas pelo ambiente de captura – bem como com o objetivo do levantamento e adequação das ferramentas a este objetivo. Conforme descrito nos quadros apresentados anteriormente, os aspectos e características dos equipamentos devem ser conhecidos e estudados na etapa de planejamento da captura e do levantamento em campo, devendo também ser debatidos pela equipe de projetos que irá conceber o projeto de reabilitação do edifício existente.

É importante também entender as limitações das tecnologias usadas atualmente. Entre alguns dos desafios técnicos da fotogrametria (Figura 5), por exemplo, são os problemas decorrentes de um planejamento inadequado da tomada fotográfica, ou de situações específicas que impedem o registro de pontos de vista diferentes: captura sem um plano sistemático – cobertura incompleta, reconstrução 3D imprecisa, baixa visibilidade. Uma das limitações mais evidentes da fotogrametria é o fato de necessitar do registro de cada ponto do objeto em pelo menos duas ou três tomadas diferentes,

o que não ocorre na varredura *laser*, em que não requer obrigatoriamente o registro de todos os pontos em diferentes posicionamentos.

Figura 5 – Exemplos de problemas e desafios da fotogrametria - captura sem um plano sistemático – cobertura incompleta, reconstrução 3D imprecisa, baixa visibilidade



Fonte: ICCCBE-W78, 2020 – de Mani Golparvar-Fard<sup>5</sup>.

#### 2.4.1.1 Escâner a *laser*

O **escâner a *laser*** (*laser scanner* - LS) é uma ferramenta que permite fazer a captura de dados dimensionais de objetos visíveis. Segundo Ebrahim (2011, p. 2-3), a tecnologia baseia-se em emissões de raios *laser* seguidos que medem distâncias em várias direções, podendo ser descrita como uma estação total motorizada, que mede automaticamente todos os pontos nos campos verticais e horizontais; o equipamento registra e computa distâncias e ângulos, que irão ser transformados em coordenadas tridimensionais; o escâner pode embutir também informações de cor RGB (foto), caso possua câmera integrada. A Figura 6 ilustra conceitualmente o funcionamento do equipamento. Ebrahim (2011, p. 3) diz que a proposta de um escâner a *laser*

<sup>5</sup> ICCCBE-W78. Keynote session 1: Mani Golparvar-Fard - Artificial Intelligence and Digital Twins (BIM + Computer Vision) for proactive project controls on construction projects. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=kW8OIUGOlyA&feature=youtu.be>. Acesso em: 20 ago. 2020.

geralmente é criar nuvens de pontos de um objeto – podendo ser um edifício, uma fachada, entre outros. Segundo Groetelaars (2015, p. 84), a precisão “pode variar do centímetro [...] ao submilímetro”, dependendo do equipamento, técnica, distância do objeto, entre outros aspectos, tendo um tempo de captura muito reduzido.

Figura 6 – Representação esquemática do escâner a *laser* terrestre

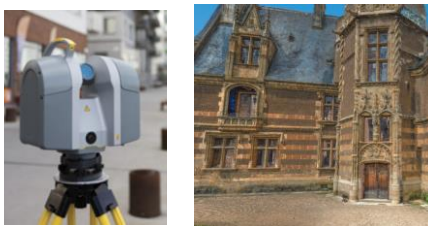


Fonte: Groetelaars, 2015, p. 83.

Além dos equipamentos terrestres fixos em tripés, existem também o escâner terrestre móvel (embarcado em tripés móveis, veículos ou robôs), o escâner de mão ou portátil (*hand-held laser scanner*), o escâner aéreo (transportado por aeronaves tripuladas ou não tripuladas) – ilustrados no Quadro 7. Os equipamentos atuais de escaneamento a *laser* geralmente possuem câmeras acopladas, obtendo também dados fotográficos e cor.

Quadro 7 – Tipos de escâner a *laser* e seus respectivos dados capturados

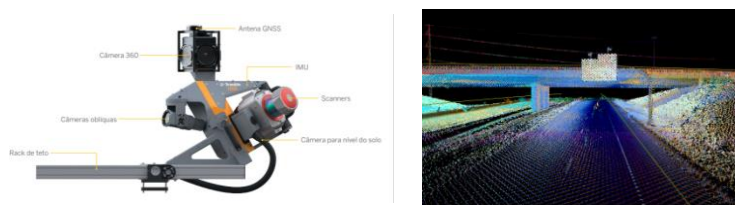
a) LS terrestre fixo em tripé



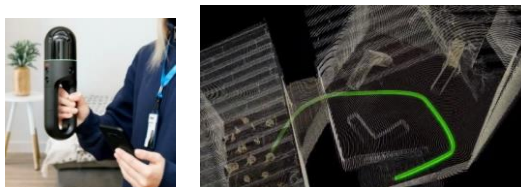
b) LS móvel embarcado em tripé móvel



c) LS móvel embarcado em veículo



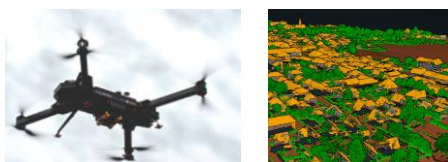
d) LS de mão (ou portátil)



e) LS móvel embarcado em robô



f) LS aéreo embarcado em VANT





Fontes: Ver nota<sup>6</sup>. (a) Trimble (TX6); (b) Faro (Focus Swift); (c) Trimble (Mobile mapping solutions); (d) Leica (BLK2Go); (e) Faro (Trek); (f) Riegl (Ricopter).

Equipamentos de escaneamento a *laser*, denominados LiDAR (*Light Detection and Ranging*), podem funcionar com base em intervalo de tempo (*time-of-flight*), em que a luz emitida pelo equipamento retorna do objeto analisado ao equipamento num período de tempo; desta forma, o escâner encontra a distância do objeto através do tempo de retorno do pulso de luz; geralmente o emissor de *laser* é estático e espelhos são rotacionados para que a luz seja emitida para vários pontos distintos do campo. Outros equipamentos escâner são baseados em diferença de fase, em que as frequências de ondas são medidas na emissão e no recebimento do feixe de luz e a diferença entre elas também possibilita a medição de distância.

Existem variações de configurações e capacidades dos equipamentos de escaneamento a *laser*, os quais devem ser estudados a fim de adequado emprego da técnica. Exemplos de variações são abordadas na seção 3.1 Testes e experimentos, em que a autora usou três equipamentos distintos.

As etapas do processo de escaneamento a *laser* são descritas no Esquema 5, ilustrando desde o planejamento até a exportação de produtos para visualização e/ou posterior processamento.

---

<sup>6</sup> Trimble TX6 - Disponível em: <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-tx6>. Acesso em: 06 jun. 2021.

Faro Focus Swift - Disponível em: <https://www.faro.com/en/Resource-Library/Tech-Sheet/techsheet-faro-focus-swift>. Acesso em: 06 jun. 2021

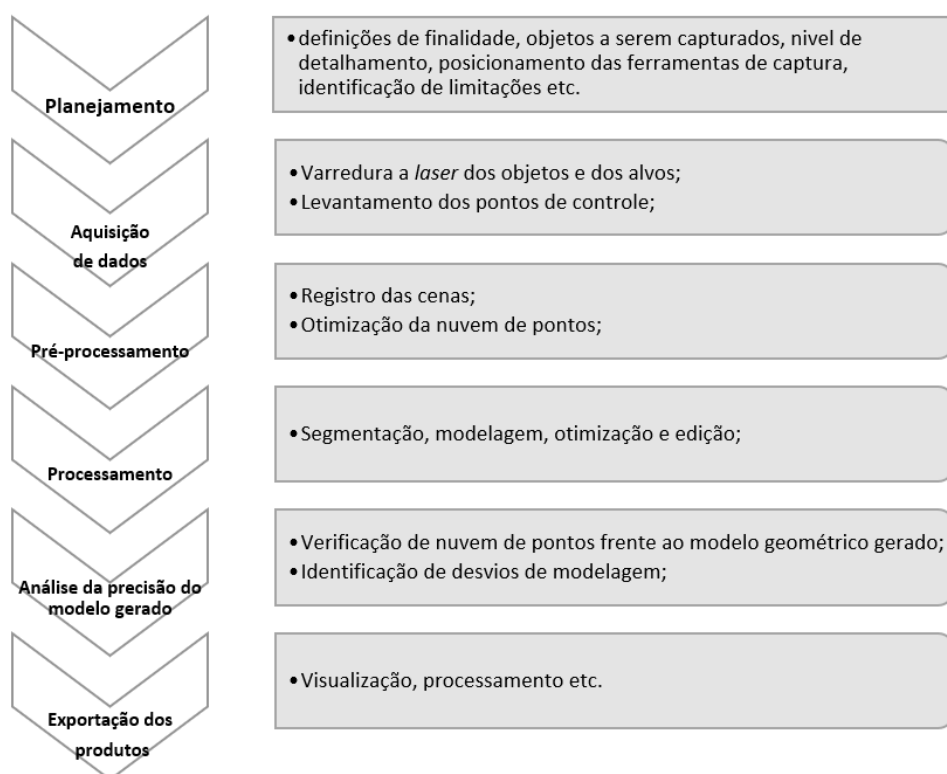
Trimble Mobile Mapping Solutions - Disponível em: <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/mobile-mapping-solutions>. Acesso em: 06 jun. 2021.

Leica BLK2Go - Disponível em: <https://shop.leica-geosystems.com/blk2go-overview>. Acesso em: 06 jun. 2021.

Faro Trek - Disponível em: Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=KAIDxRCuoVI>. Acesso em: 11 jun. 2023.

Riegl Ricopter - Disponível em: <http://www.riegl.com/products/unmanned-scanning/ricopter/>. Acesso em: 06 jun. 2021.

Esquema 5 – Etapas geralmente realizadas para um levantamento com a tecnologia de escaneamento a *laser*



Fonte: Baseado em Groetelaars e Amorim, 2011.

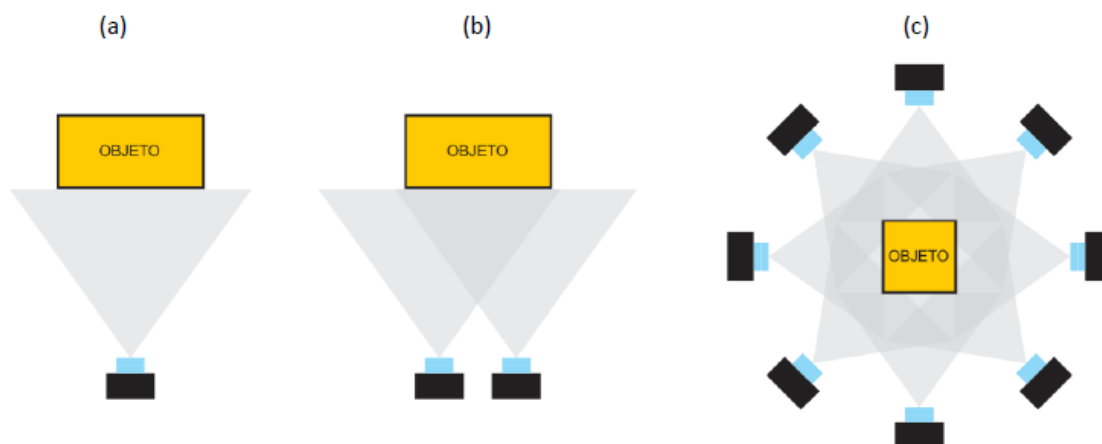
Segundo Klein *et al.* (2012, p. 162, tradução nossa), “equipamentos de escâner a *laser* são capazes de obter grandes quantidades de informação espacial, na forma de nuvem de pontos 3D densa (milhões de pontos), num curto período de tempo”, sendo adequado para geometria de formato complexo e para obtenção de dados detalhados, tendo também como vantagem a captura automática. Contudo, é importante observar que o equipamento possui algumas limitações, tais como o custo alto de aquisição da ferramenta, a necessidade de capacitação e treinamento para uso adequado, bem como, segundo Klein *et al.* (2012, p. 162, tradução nossa), de restrições na captura de dados de “objetos reflexivos, texturas da superfície, [lugares] sem linha de visão”. Um exemplo seriam prédios com muito vidro. Volk *et al.* (2013, p. 119) mencionaram as desvantagens do uso do escâner, como a aplicação em superfícies reflexivas, transparentes e escuras.

### 2.4.1.2 Fotogrametria

Outra técnica de medição que avançou tecnologicamente nos últimos anos é a **fotogrametria digital**, que permite extrair das fotografias informações como formas, dimensões e posição de objetos. Há uma grande quantidade de produtos obtidos com a técnica, segundo Groetelaars (2015, p. 68), como medidas, desenhos, modelos geométricos, fotos retificadas, ortofotos. A fotogrametria pode variar conforme o posicionamento da câmera: terrestre, quando a foto é tirada próxima à superfície terrestre; aérea, quando o equipamento é colocado em aeronaves, balões, helicópteros, veículos aéreos não tripulados (VANT) conhecidos popularmente por drones; orbital quando a câmera é colocada em satélites. Existe também a fotogrametria esférica, a ser abordada nesta seção.

O número e o posicionamento das fotografias podem gerar resultados diferentes de restituição fotogramétrica. Segundo Groetelaars (2015, p. 70-71), a monorrestituição (restituição de apenas uma foto) pode auxiliar no processo de obtenção de desenhos, fotos retificadas e modelos geométricos parciais de objetos simples, como formas planas – itens (a) da Figura 7 e da Figura 8; a estereorrestituição é feita com uso de duas fotos tiradas em diferentes posições, paralelas ou com pequenas inclinações entre si, e com sobreposição parcial entre as fotos, podendo registrar formas complexas e irregulares em modelos geométricos – itens (b) da Figura 7 e da Figura 8; e a restituição feita com múltiplas fotografias convergentes, com ângulos variados e convergentes, que permitam a identificação de pontos homólogos nas fotografias, podendo gerar modelos geométricos mais complexos – itens (c) da Figura 7 e da Figura 8.

Figura 7 – Exemplos de tomada fotográfica em diferentes situações (quantidade de fotos e posição das tomadas) – (a) monorrestituição, (b) estereorrestituição e (c) restituição com múltiplas fotos.



Fonte: Groetelaars, 2015, p. 70.

Figura 8 – Exemplos de produtos obtidos das tomadas fotográficas em diferentes situações (quantidade de fotos e posição das tomadas) – (a) monorrestituição, (b) estereorrestituição e (c) restituição com múltiplas fotos.



Fonte: Groetelaars, 2015, p. 71.

Uma evolução da fotogrametria digital tradicional (ou interativa) é o **Dense Stereo Matching** (DSM), que é uma técnica de geração de nuvem de pontos ou malha triangular irregular, baseado em processos de correlação de *pixels* homólogos de diferentes fotografias. Esta técnica requer objeto com texturas não uniformes (conjunto diferenciado de *pixels*). A autora Groetelaars (2015, p. 72-73) explica que a técnica de correlação automática funciona quando a superfície do objeto fotografado não é uniforme. Segundo a pesquisa de Groetelaars e Amorim (2012, p. 361-362), o DSM também é nomeado com outros termos, tais como “*Structure from Motion [SfM]*, *Dense Surface Modeling* e *Photo-based scanning*”. Segundo os autores, há algumas

condições, parâmetros e cuidados que devem ser tomados nas etapas de captura e de processamento através de ferramenta computacional; em resumo, são eles:

a) Etapa de captura

- A superfície de captura tem que apresentar textura não uniforme, de forma a evitar que o processamento de associação de pontos homólogos seja inviabilizado ou resulte num modelo com ruído, sombra ou imprecisão; pode-se melhorar as condições ambientais adicionando sinalizações (alvos) na superfície a ser capturada;
- Registrar cada parte do objeto em ao menos 3 posições distintas;
- Registro com ângulos nulos (fotos paralelas) ou menores de  $10^\circ$  entre si;
- Fotos com sobreposição mínima de 80% entre si;
- Manter boas e as mesmas condições de luminosidade durante o levantamento em campo;

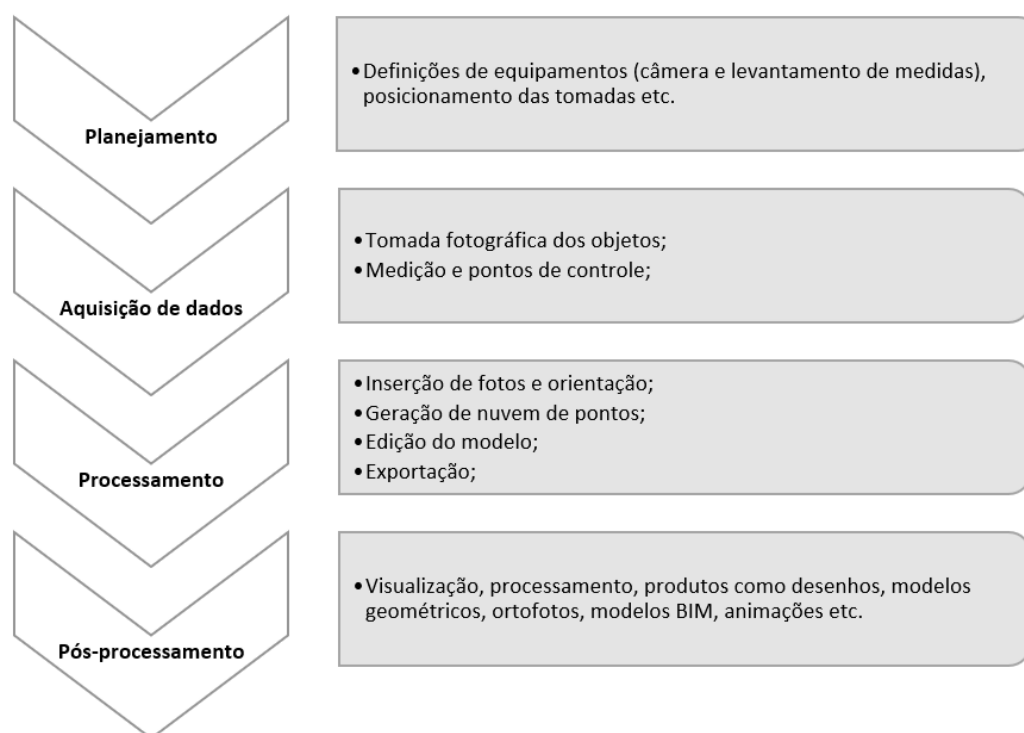
b) Etapa de processamento da fotogrametria DSM, através de programa computacional;

- Inserção das fotos no programa;
- Identificação de pontos homólogos dentro do programa, sendo de forma manual (interativa) ou automaticamente;
- Geração da nuvem de pontos e de malha TIN;
- Ajuste da escala do modelo, com base em dimensões tomadas em campo sobre o objeto real;
- Ajuste do resultado, de forma a filtrar ou simplificar a malha gerada;
- Exportação dos dados para formato de arquivo digital

Os objetos da captura fotográfica podem ter diversas escalas (objetos, esculturas, fachadas, ambientes, prédios) e podem ser fotografadas por diversos tipos de equipamento e condições (fotos convencionais, fotos 360°, fotos tiradas com VANT etc). Com o auxílio de programas computacionais, a geração do modelo 3D em nuvem de pontos ou em malha TIN pode ser feita da seguinte forma: após as tomadas fotográficas, são inseridas imagens nestes programas, executando então automaticamente a identificação de pontos comuns (homólogos) e a criação do modelo.

O Esquema 6 mostra as etapas do processo de fotogrametria, ilustrando desde o planejamento até o pós-processamento para visualização e uso de modelos geométricos, ortofotos, entre outros produtos.

Esquema 6 – Etapas geralmente realizadas para um levantamento com o sistema de varredura por fotogrametria



Fonte: Baseado em Groetelaars e Amorim, 2012.

Conforme Groetelaars (2015, p. 68-69) propõe em sua tese, de forma resumida, os procedimentos para fazer levantamentos com a fotogrametria digital são:

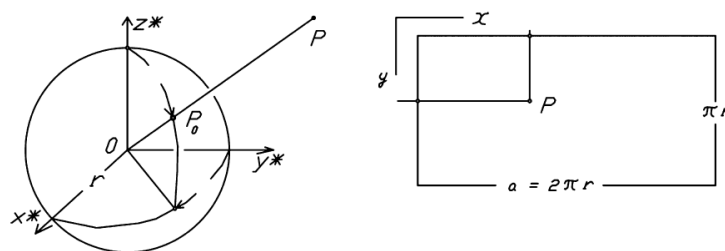
- a) Tomada fotográfica do objeto em campo: recomenda-se duas a três fotos de cada ponto do objeto a ser registrado, controlando qualidade da tomada e resolução;
- b) Levantamento de algumas dimensões em campo: recomenda-se fazer medições de distância com fita métrica, dispositivos eletrônicos (trena *laser*) ou equipamentos topográficos, com objetivo de colocar o objeto restituído na escala real (1/1);

- c) Parâmetros da câmera: definir parâmetros, como distância focal (DF), localização do ponto principal (PP), distorções da objetiva, tamanho do sensor e resolução da imagem;
- d) Orientação externa: mediante processos interativos ou automatizados, identificar pontos homólogos nas imagens (pontos comuns entre cenas), realizar a intersecção deles e fazer reconstrução do posicionamento relativo das fotos, identificando as medições que trarão escala real ao modelo;
- e) Geração do modelo e outros produtos;
- f) Exportação dos produtos.

Segundo Klein *et al.* (2012, p. 162, tradução nossa), “a fotogrametria oferece uma das soluções de baixo custo mais promissoras, mas depende bastante de condições ambientais favoráveis”; segundo os autores (2012, p. 163), aspectos como luz, objetos que se movem, oclusões geradas por vegetação, carros, móveis e pessoas, ausência de pontos característicos em superfícies sem textura, falta de posicionamento e bom ângulo de captura, entre outras questões podem representar desafios e problemas técnicos de processamento.

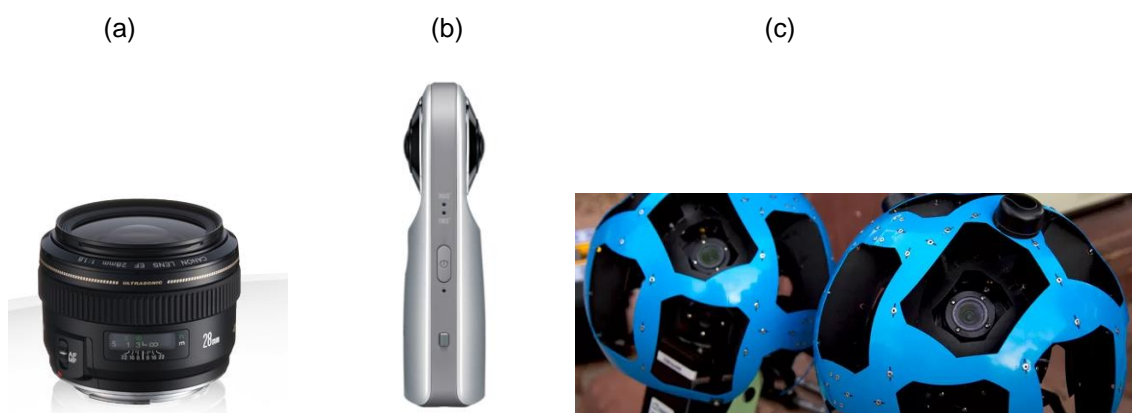
Existe também a técnica da **fotogrametria esférica**, que foi criada por Gabriele Fangi e usa panoramas esféricos para criar a restituição fotogramétrica, através de fórmulas matemáticas que ajustam a geometria dos pontos (pixels) capturados em uma projeção equirretangular (Figura 9). Essa técnica pode ser apoiada em fotografias capturadas em câmeras de uma só lente (com uso de tripés especiais que rotacionam a câmera, controlando o raio de rotação), em câmeras de duas lentes olho-de-peixe, ou em câmeras com mais de duas lentes – exemplos de câmeras ilustradas na Figura 10. Segundo Barazzetti *et al.* (2018, p. 70, tradução nossa), “a maior parte das aplicações [da fotogrametria esférica] foram feitas a partir de imagens coletadas rotacionando a câmera e as costurando com um software de geração de panorama”. Um exemplo de captura feita com uma lente de distância focal de 28 mm, que foi rotacionada para gerar panoramas está apresentado na Figura 11.

Figura 9 – Fotogrametria esférica – a projeção equirretangular



Fonte: Fangi e Nardinocchi (2013, p. 296).

Figura 10 – Equipamentos para fotogrametria esférica



Fontes: Ver nota<sup>7</sup>. (a) Canon; (b) LG; (c) Techtudo.

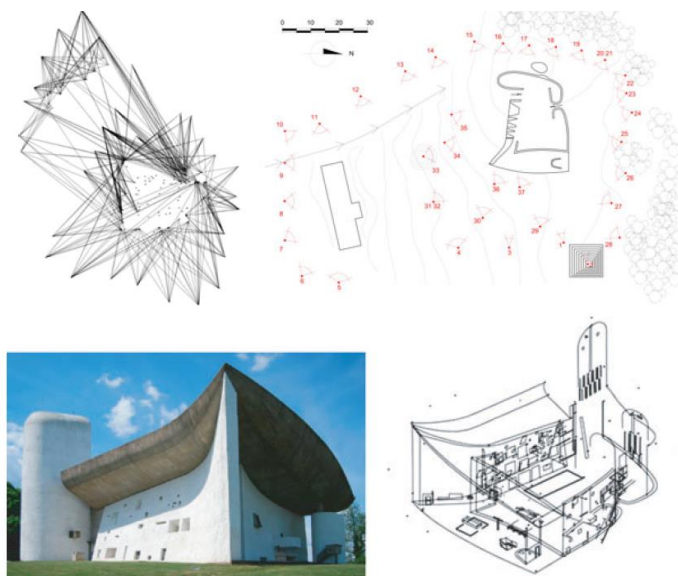
Figura 11 – Fotogrametria esférica - a igreja de Ronchamp

<sup>7</sup> Canon 28mm - Disponível em: <https://www.canon.pt/lenses/ef-28mm-f-1-8-usm-lens/#specification>. Acesso em: 06 jun. 2021.

LG - Disponível em: <https://www.lg.com/us/mobile-accessories/lg-LGR105AVRZTS-360-cam>. Acesso em: 06 jun. 2021.

Google trekker - Techtudo - Disponível em: <https://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2015/07/google-trekker-1-lugar-registrado-chao-falso-e-curiosidades-no-maps.html>. Acesso em: 06 jun. 2021.



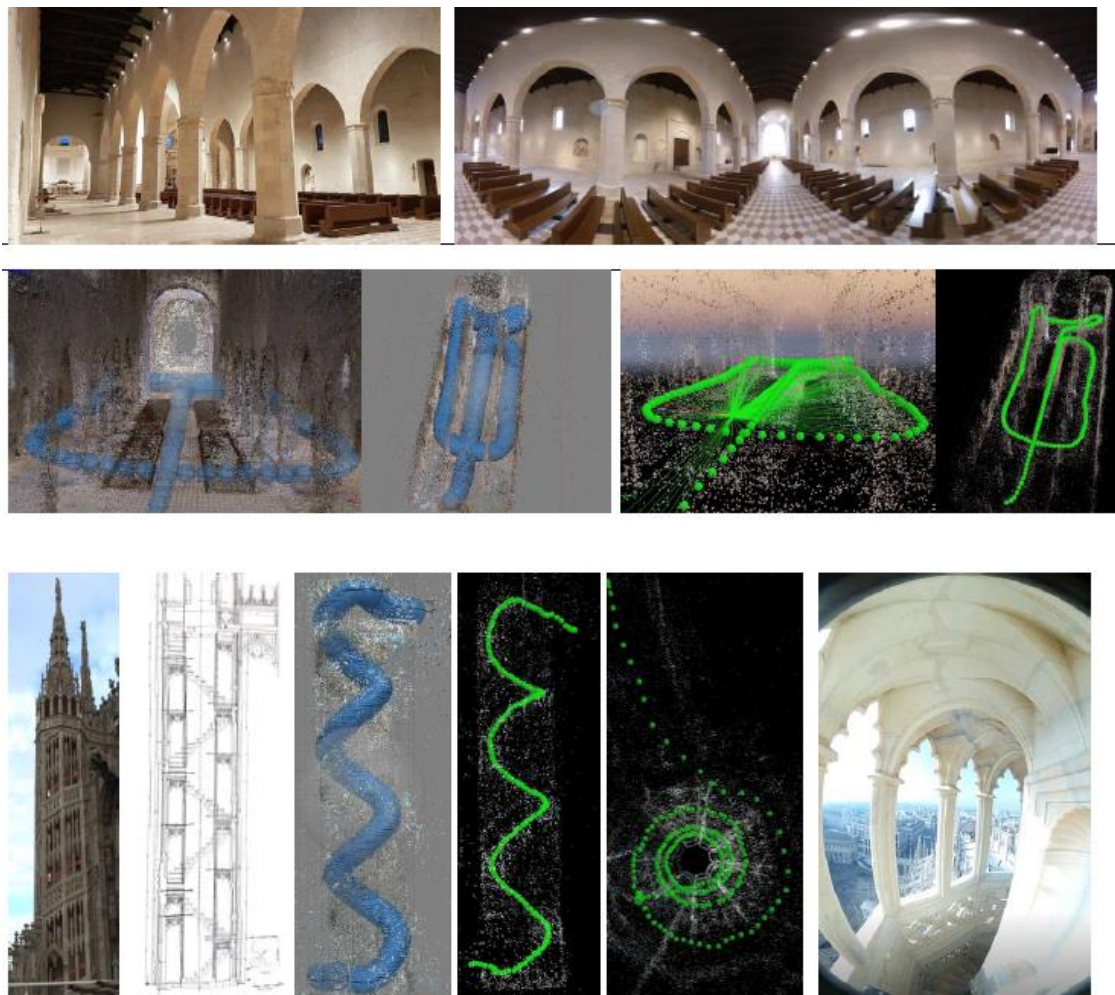


Acima, à esquerda e à direita, são ilustrados os pontos de captura de imagens da igreja. Abaixo, à direita, imagem da igreja, e à esquerda, modelo *wireframe* feito à partir de 37 panoramas esféricos. Fonte: Fangi e Nardinocchi (2013, p. 303).

Em dois artigos – Barazzetti *et al.* (2018) e Barazzetti *et al.* (2017) – são ilustrados casos de uso de câmeras fotográficas 360°, geralmente compostas por duas lentes esféricas olho-de-peixe, na frente e no verso do corpo da câmera. Um exemplo de uso de câmera 360° está ilustrado na Figura 12, em que ambientes longos e estreitos são objetos de teste com fotogrametria esférica a partir de câmera 360°. Ambientes pequenos internos também são favorecidos pelo uso da técnica de fotogrametria esférica (Barazzetti *et al.*, 2018, p. 69). Segundo Fangi e Nardinocchi (2013, p. 296, tradução nossa), existem algumas vantagens ao usar a técnica de fotogrametria esférica, ao compará-la com a técnica baseada em lentes convencionais, como o “número reduzido de imagens necessárias”, além do fato de que “o campo de visão mais aberto da lente possibilita o operador da câmera chegar mais perto do objeto”. Além disso, o preço baixo do equipamento (câmera com lentes panorâmicas) e a agilidade das capturas em campo (ou seja, pouco tempo de captura) também são vantagens; contudo, os desafios no uso da técnica são relacionados à heterogeneidade da iluminação do ambiente, bem como à possível baixa resolução apresentada pelo modelo da câmera 360° (Barazzetti *et al.*, 2018, p. 69-74). Fangi e Nardinocchi (2013) citam ao longo de seu artigo algumas das boas práticas de captura em campo, como o uso de tripé, a sobreposição de imagens em cerca de 30%, a medição de distâncias em campo para referência. Barazzetti *et al.* (2018, p. 74)

indicam que o uso de “pontos de controle” medidos com estação total também pode contribuir para o controle da geometria, em complemento à técnica da fotogrametria esférica.

Figura 12 – Fotogrametria esférica – usos de câmera 360° em ambientes longos e estreitos.



Imagens acima ilustram capturas em corredores da nave de uma basílica. Imagens abaixo ilustram capturas feitas em escada estreita. Fonte: Barazzetti *et al.* (2018, p. 73).

#### 2.4.2 Outros levantamentos especializados

Além dos levantamentos dimensionais e geométricos, também são práticas do mercado a obtenção de outros dados relevantes do edifício existente para projetos de reabilitação e reforma, tais como desenhos técnicos antigos, imagens e vídeos obtidos *in loco* e análises técnicas especializadas.

Cada disciplina de projeto e campo do conhecimento técnico-construtivo pode contar com técnicas específicas para captura de dados e análises que beneficiem projetos de reabilitação. Exemplos são mencionados a seguir.

#### 2.4.2.1 Visualização com fotografias 360°

Em reabilitações de edifícios, sobretudo nas análises da disciplina da arquitetura, o aspecto de conservação de superfícies (tais como pisos e paredes) geralmente é muito importante. Entre as técnicas ilustradas anteriormente (seção 2.4.1), a **captura de dados por fotografias** pode ser muito útil para estudos e diagnósticos, bem como subsidiar o desenvolvimento da solução arquitetônica de reabilitação.

Ainda, fotos podem fornecer informações relevantes dos sistemas elétricos, eletrônicos, de ar-condicionado, hidráulica, entre outros. **Fotos 360°** viabilizam o uso dos dados por equipes de projeto remotas – como no exemplo da Figura 13 em que a foto de uma laje corporativa é analisada pelas equipes locadas em outros países para desenvolvimento de projeto de reforma e ocupação.

Figura 13 – Foto esférica (360°) de laje corporativa em São Paulo



Passeio virtual com foto 360°, visualizada em plataforma especializada (*Banib Conecta*). A foto foi usada durante processo de demolição dos elementos construtivos existentes, em etapa anterior ao início da reforma. Fonte: a autora.

O uso de câmeras 360° está não só associado à fotogrametria esférica para fins de reconstituição geométrica, mas também a serviços de hospedagem de **passeio virtual (tour virtual)**. Esses passeios virtuais constituem-se de visualizações 360° das fotos tiradas, possibilitando que o usuário tenha uma experiência imersiva, simulando em realidade virtual o espaço construído e possibilitando que o usuário possa transitar virtualmente entre os vários pontos de captura de fotografias esféricas. Existem vários serviços baseados na web, que seriam *Software as a Service* (SaaS), em que é possível fazer hospedagem de passeios virtuais gratuitamente ou através de cobranças mensais ou anuais; os preços variam conforme as funcionalidades oferecidas, bem como os tamanhos dos arquivos, quantidade de fotos ou quantidade de modelos hospedados.

Nesta pesquisa, testes foram conduzidos com o uso de uma câmera 360° e com ferramentas como *Metashape* e *Matterport*, conforme mencionado no APÊNDICE A. No exemplo ilustrado na Figura 14, desenvolvido no *Matterport* (ferramenta SaaS), a plataforma gera automaticamente um modelo 3D de malha TIN, através de fotogrametria. Segundo Piniotis *et al.* (2020, p. 149), o *Matterport* usa uma tecnologia para mapeamentos internos, o *Simultaneous Location and Mapping* (SLAM), que “permite a criação em tempo real e atualização do mapa enquanto deriva informação de localização. [...] geralmente operados por sensores fotográficos como câmeras, sensores de distância como o LiDAR [...]”. Contudo, usando o *Matterport* e a câmera 360°, hoje não é possível controlar parâmetros do processamento do modelo fotogramétrico, como a indicação manual dos pontos homólogos, nem controlar os formatos de dados gerados, pois a ferramenta tem produtos gerados restritos: passeio virtual e modelagem 3D com malha TIN hospedados na plataforma/site. O *Matterport* também pode gerar os mesmos produtos com um LiDAR, por exemplo do celular Iphone 12 Pro. Caso sejam usadas outras ferramentas em campo, como o *Matterport Pro2* e o escâner a laser Leica BLK360, pode-se criar plantas baixas e plantas refletidas de forro (formatos .PDF ou .JPG), malha 3d (formato .OBJ) e nuvem de pontos (formato .XYZ, exemplo na Figura 16)

Figura 14 – Modelos geométricos texturizados (malha TIN) feitos a partir de fotogrametria esférica



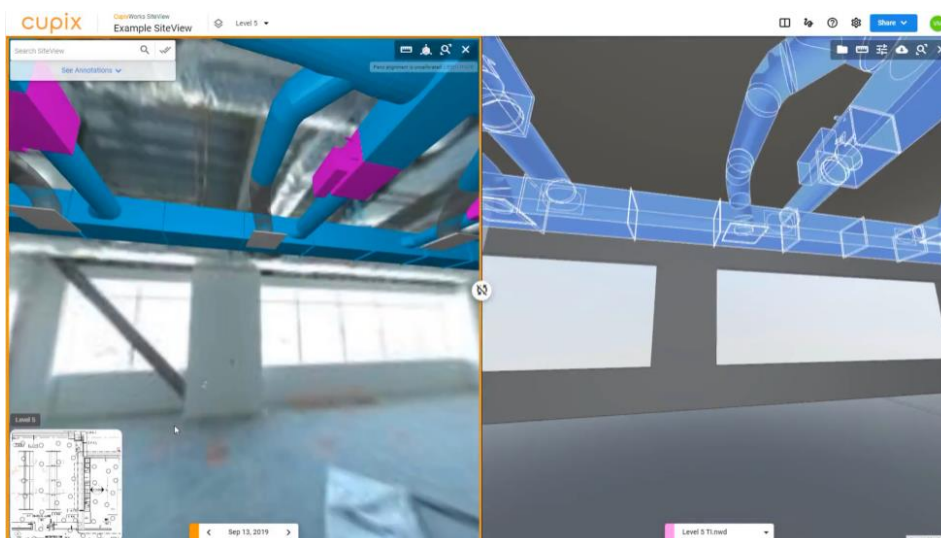


Apartamento em São Paulo e residência em Sorocaba, modelados na plataforma *Matterport*, que permite a visualização de passeio virtual e da malha TIN texturizada. Fonte: modelos e fotos da autora. 2020.

Existem outras ferramentas para visualização do passeio virtual e fotogrametria esférica, tais como Banib Conecta (nacional) e o Cupix (Figura 15). Há uma variação de soluções embarcadas nestes SaaS, sendo algumas voltadas ao *Real Estate* (mercado imobiliário, para facilitar transações e visualização remota do imóvel) e outras à Construção (acompanhamento de obra, criação de modelos, medição de distâncias e áreas, criação de nuvem de pontos, comparação com modelo BIM, inserção de dados e comentários etc.). Cada ferramenta tem uma necessidade e interface diferente no que se refere à inserção de fotos, reconhecimento da localização dos pontos, programação do passeio virtual, conexão entre cenas etc. A seção 2.4.2 descreve mais dados sobre os panoramas esféricos.

Figura 15 – Formas de captura com câmeras 360° e comparativo de passeio virtual com modelo BIM





Conforme ilustrado nas imagens acima, a captura com câmera 360° pode ser feita através de fixação do equipamento em tripé, em capacete ou em haste. Conforme ilustrado nas imagens abaixo, o passeio virtual feito à partir de foto esférica pode ser comparado com modelo projetual. Fonte: Ver nota<sup>8</sup>. Cupix.

Figura 16 – Nuvem de pontos gerada a partir do processamento das fotos 360° no *Matterport*



Fonte: Ver nota<sup>9</sup>. Matterport.

### 2.4.2.2 Georradar

<sup>8</sup> Cupix - Disponível em: <https://www.cupix.com/works/features.html>. Acesso em: 20 ago. 2020.

<sup>9</sup> Matterport - Disponível em: <https://matterport.com/>. Acesso em: 20 ago. 2020.

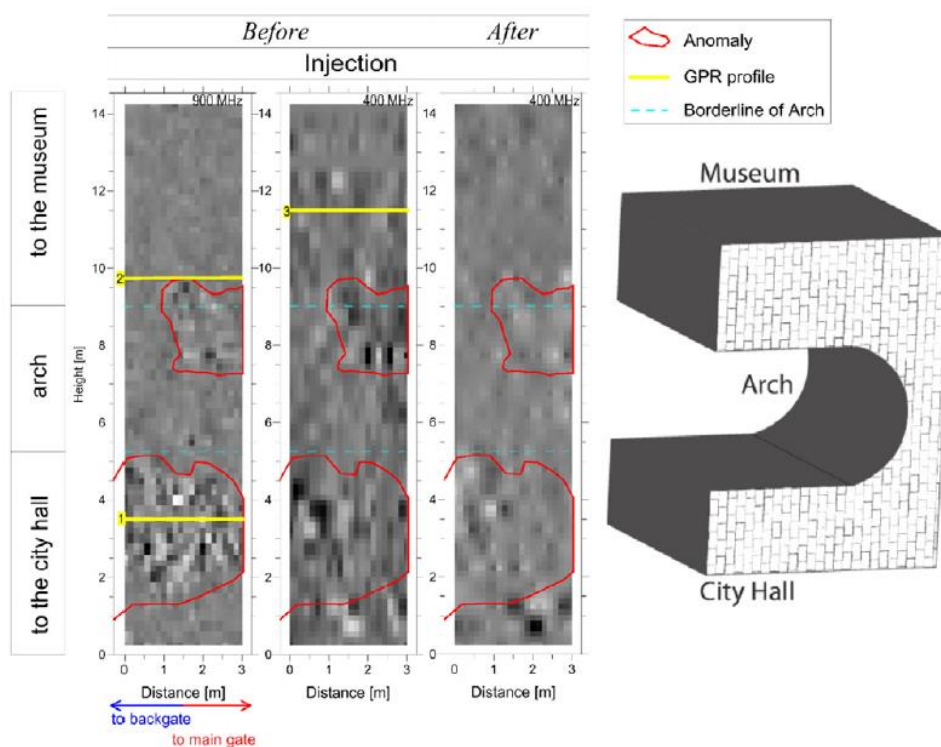
O **Georradar ou Radar de Penetração** (conhecido como *Ground Penetrating Radar* ou GPR) é uma ferramenta que possibilita detectar contrastes nas propriedades físicas em subsuperfícies, que podem estar correlacionadas à variação do material presente nos componentes construtivos (parede ou laje com instalações elétricas, hidráulicas, vergalhões, cordoalhas, entre outros). Estes radares podem funcionar em abrangências de 10 a 10.000 Megahertz de frequência, transmitindo e recebendo ondas, permitindo usos múltiplos, incluindo inspeção de objetos e estruturas de forma não destrutiva ou intrusiva (LAI, 2018). O GPR gera “radargramas, que registram seções do trecho investigado” (GROETELAARS, 2015, p. 89). Kanli (2015), por exemplo, conduziu em seu estudo, a análise GPR de vazios em fachada histórica numa estrutura na Hungria, viabilizando identificar pontos necessários para reconstituição com injeções de cimento (Figura 17, Figura 18, Figura 19). Barraca (2016) ilustra outro exemplo, em que o GPR auxiliou na detecção de sistemas de elétrica e hidráulica em parede em casa histórica (Figura 20). Tem-se também na Figura 21 o levantamento do GPR feito em estrutura existente (laje) para detecção de interferências estruturais (armaduras em concreto), com objetivo de determinar ponto de passagem de esgoto em projeto de hidráulica.

Figura 17 – Painel de fotos da Torre de Sopron (Hungria) com injeção de cimento para reconstituição de parede



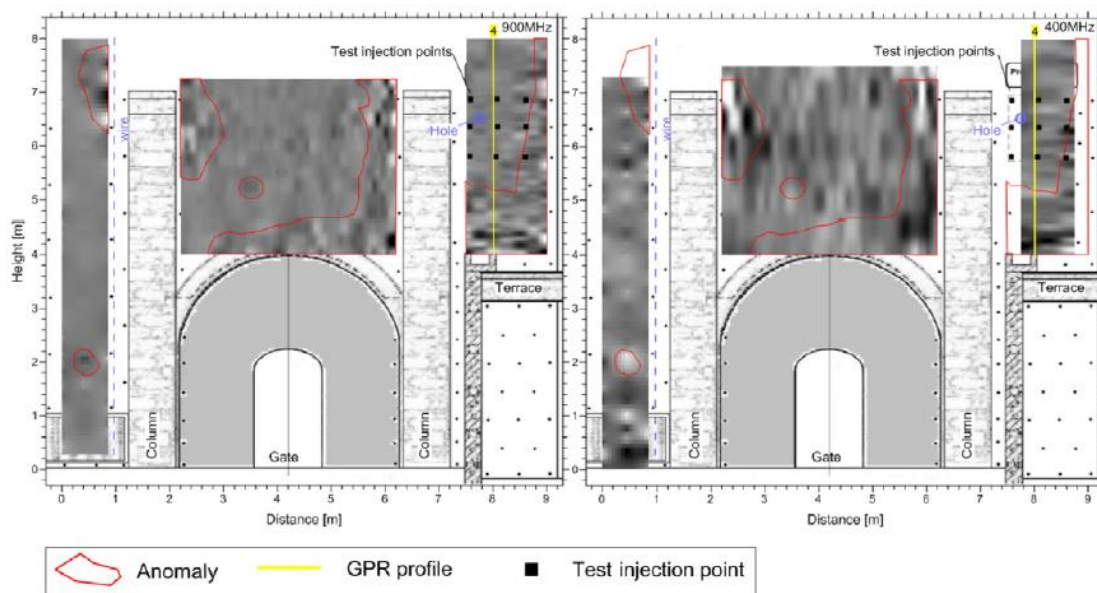
Painel de fotos: (a) parede da torre, (b) tubos de injeção de cimento, (c) furos na parede para injeção, (d) material retirado para injeção e (e) seção da parede com materiais originais e com cimento injetado. Fonte: Kanli, 2015.

Figura 18 – Seções do levantamento Georradar do arco da Torre de Sopron (Hungria), antes e depois das injeções de cimento para recomposição



Na imagem da esquerda, é possível ver os radargramas e notar que o teste conduzido antes da injeção de cimento detectou falhas no concreto existente, bem como notar que, após a injeção de cimento, as irregularidades de frequência foram reduzidas. Na imagem da direita, o modelo do arco existente onde foi conduzido o experimento. Fonte: Kanli, 2015.

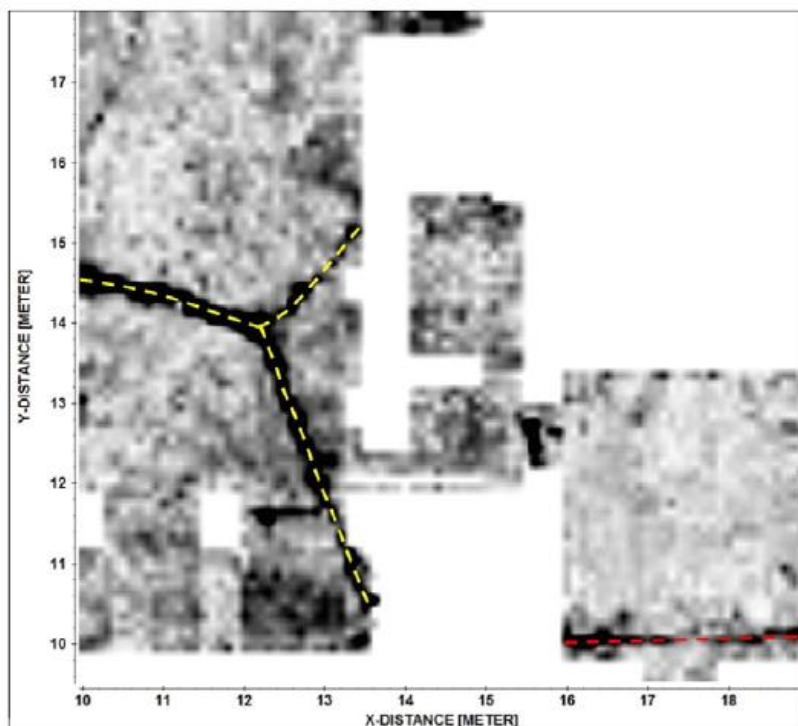
Figura 19 – Anomalias detectadas na fachada arco da Torre de Sopron (Hungria)



Fonte: Kanli, 2015.

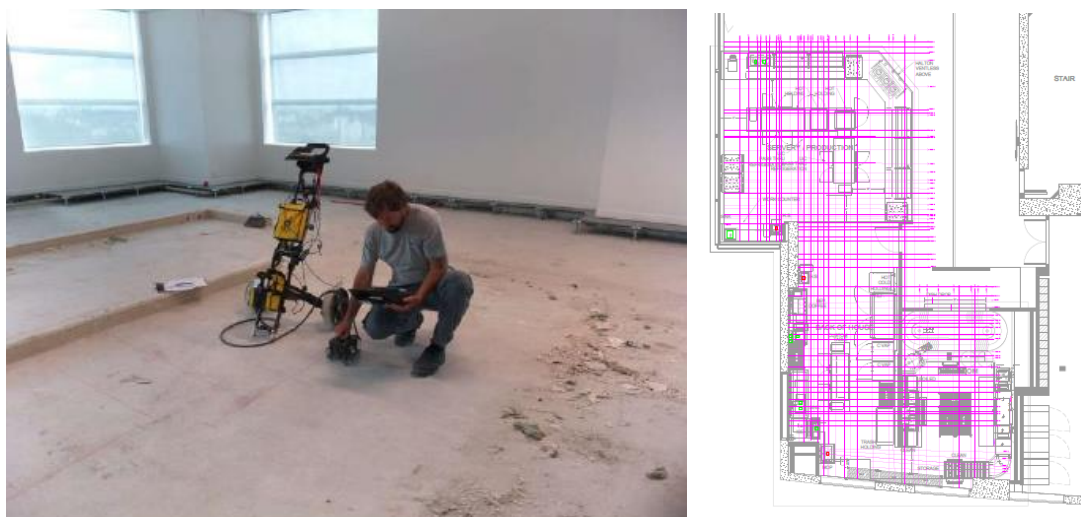


Figura 20 – Seção de parede levantada com georradar, em que se identificam cabeios elétricos (em amarelo) e hidráulica (em vermelho)



Fonte: Barraca, 2016.

Figura 21 – Levantamento georradar e planta de armações para compatibilização de projeto hidráulico de cozinha de escritório corporativo em São Paulo



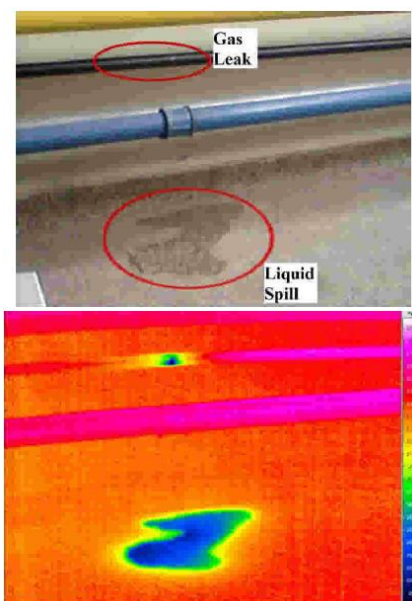
Fonte: a autora.

### 2.4.2.3 Termógrafo (câmera térmica)

Para disciplinas de projeto que envolvem fluídos com diferentes temperaturas – mecânica, hidráulica, entre outros – existem ferramentas de **análise termográfica**: a câmera térmica (termógrafo infravermelho). Segundo Groetelaars (2015, p. 86), o instrumento também pode ser usado na identificação de anomalias e patologias, elementos estruturais ocultos, localização de dutos e tubulações, infiltrações e presença de umidade, contudo a técnica é “[...] muito sensível às condições ambientais, como variações térmicas durante a aquisição de dados” (2015, p. 88). Segundo a autora (2015, p. 86), a “[...] termografia é uma técnica não destrutiva que permite o registro e a medição de radiação infravermelho emitida pelos objetos, sem contato físico [...]”.

No estudo de Soldan *et al.* (2012), conforme visto na Figura 22, foi feito um robô para monitoramento remoto de vazamentos de gás em ambiente industrial, em que havia acoplada uma câmera térmica. Na Figura 23 e na Figura 24, um fornecedor e vendedor destes tipos de câmera de termografia ilustra os diversos tipos de aplicação e uso das imagens em inspeções prediais, como a detecção de problemas de isolamento e vedação de portas e caixilhos, detecção de estruturas internas ocultas por vedações e revestimentos externos, identificação de armaduras internas ao concreto, descoberta de superfícies úmidas ou vazamentos de água quente, água fria, gás, detecção de sistemas térmicos sob superfícies, entre outros. No estudo de Alhaidary *et al.* (2019), como se vê na Figura 25, a pesquisa teve como objetivo modelar edifícios existentes, obtendo dados como os obtidos com termógrafo e também com sensores de fluxo de calor, e descobrir os valores de transmitância térmica reais.

Figura 22 – Vazamento de gás detectado com câmera térmica



Fonte: Soldan, 2012.

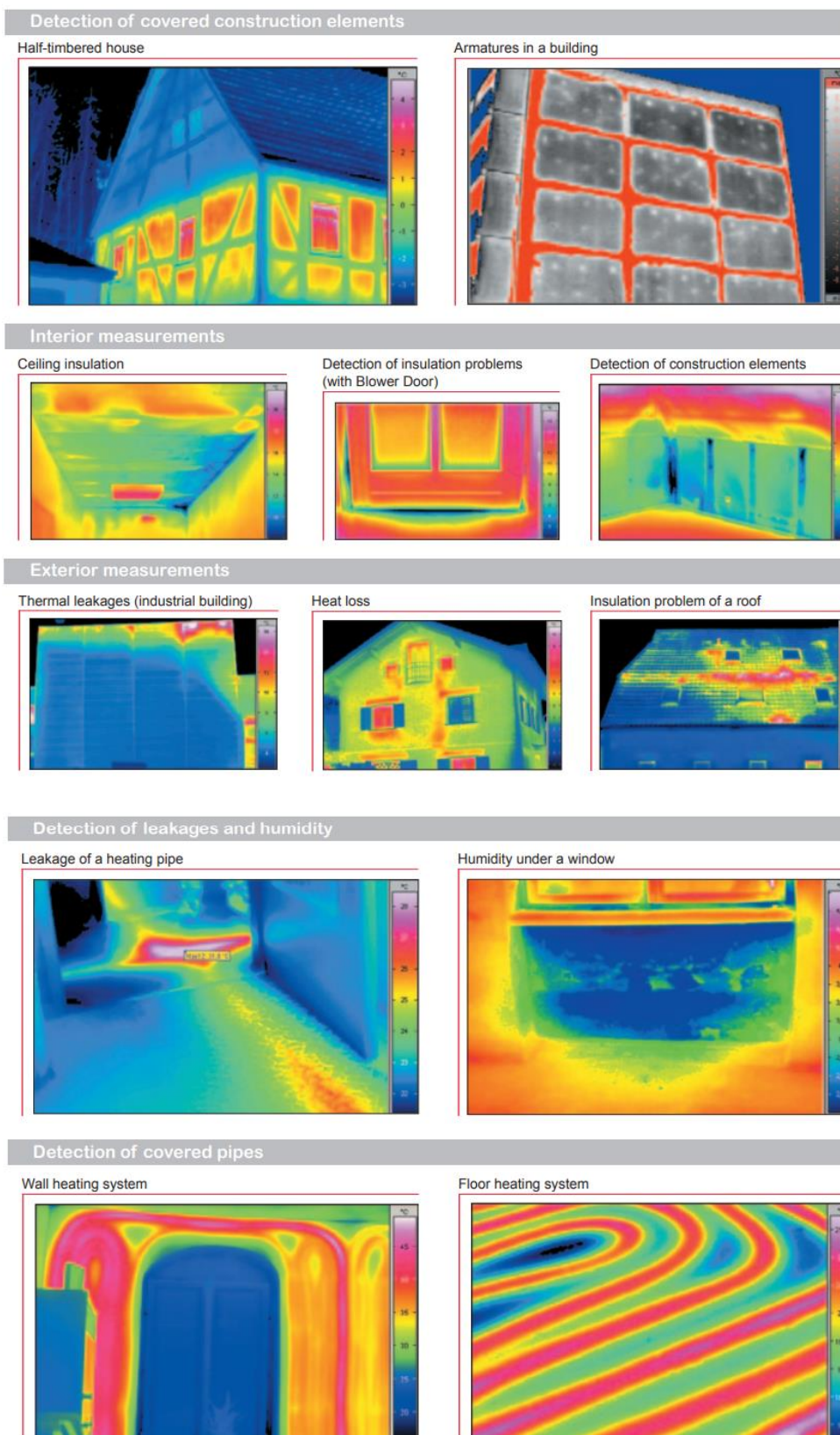
Figura 23 – Problemas de isolamento térmico na região da porta, detectados com câmera térmica



Fonte: Ver nota<sup>10</sup>. Infratec.

Figura 24 – Conjunto de imagens - Detecção de problemas de isolamento térmico e detecção de elementos ocultos em sistemas de pisos, fachadas e vedações, usando o termógrafo

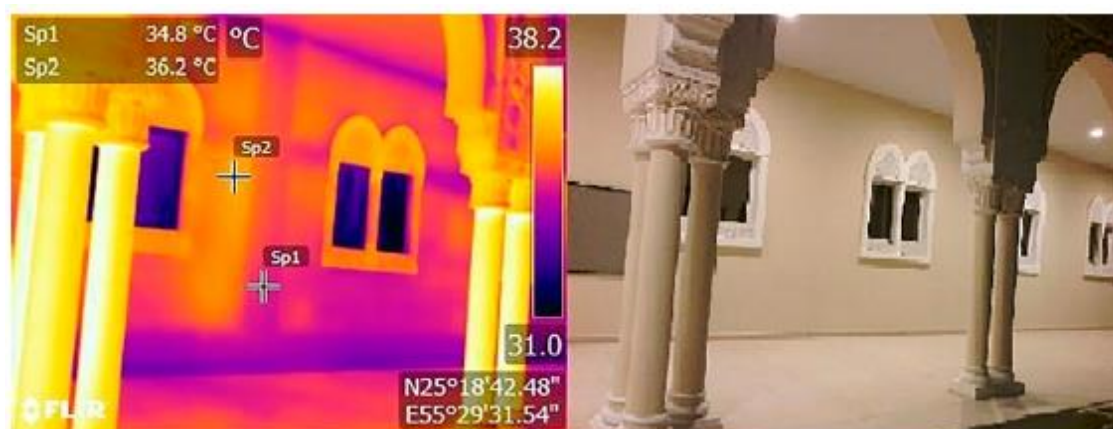
<sup>10</sup> Infratec - Disponível em: <https://www.infratec.eu/thermography/industries-applications/building-thermography/>. Acesso em: 20 ago. 2020.



O conjunto de imagens ilustra possíveis usos e análises com termógrafo. Da esquerda para a direita, de cima para baixo: detecção de elementos construtivos cobertos (como estruturas de madeira e armaduras metálicas); medições interiores (isolamento de forro, problemas no isolamento de porta, e detecção de elementos construtivos); medições externas (vazamentos térmicos, perda de calor, problema de isolamento de cobertura); detecções de vazamentos e umidade (vazamento em cano de

aquecimento e umidade embaixo de janela); e detecção de canos cobertos (sistema de aquecimento de parede e sistema de aquecimento de piso). Fonte: Ver nota<sup>11</sup>. Infratec.

Figura 25 – Detecção de problemas de isolamento térmico em pilar e viga de concreto através do uso da ferramenta de câmera térmica



Fonte: Alhaidary *et al.* (2019, p. 19).

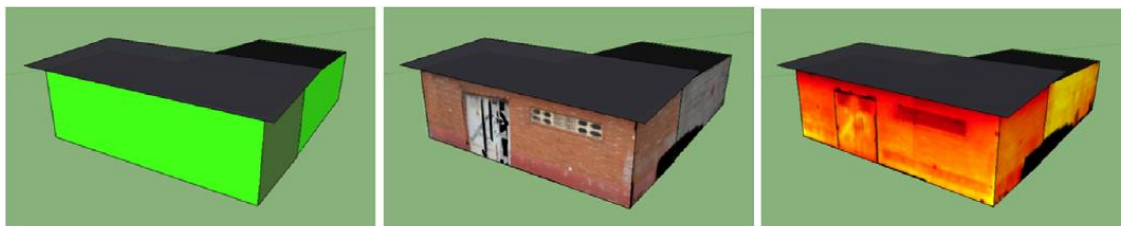
Segundo Lagüela *et al.* (2013, p. 230), com a termografia, se pode encontrar não apenas vazamentos de ar e pontes térmicas, mas também falhas construtivas, como áreas úmidas e falhas estruturais.

Segundo a pesquisa de Lagüela *et al.* (2013, p. 230, tradução nossa), a combinação de termografia com outras técnicas de captura pode trazer informações mais completas das condições reais do edifício existente, “consequentemente ajudando num planejamento mais eficiente de trabalhos de reabilitação, possibilitando o reparo de falhas mais severas”. Os autores associaram as técnicas de fotogrametria, fotografia, escaneamento a *laser* e termografia para gerar modelos 3D com dados geométricos, visuais e térmicos, conforme se vê na Figura 26. Para a captura com câmera térmica, as condições ambientais de captura de dados termográficos foram: não exposição a dias de chuva e exposição à umidade (a umidade em superfícies como paredes atrapalha na medição de condições típicas); preferência por dias nublados, com radiação solar indireta.

<sup>11</sup> Infratec - Disponível em: <https://www.infratec.eu/thermography/industries-applications/building-thermography/>. Acesso em: 20 ago. 2020.



Figura 26 – Modelo 3D sem textura feito à partir de nuvem de pontos; modelo 3D com textura de foto RGB (ortofoto); e modelo 3D com textura de foto de termógrafo (ortofoto)



Fonte: Lagüela *et al.* (2013, p. 239)

Existem também muitas outras tecnologias de captura de dados de edifícios existentes e em uso, tais como a radiografia, a medição de intensidade de luz (luxímetro) e a medição de intensidade sonora (decibelímetro). Estas técnicas não serão aprofundadas nesta pesquisa, mas também poderiam auxiliar no diagnóstico de aspectos específicos, tais como o desempenho acústico para fins de análise de conforto de um edifício existente.

#### **2.4.3 Engenharia diagnóstica, estudo do estado de conservação e mapas de danos**

A engenharia diagnóstica é elaborada por especialistas e se destina à análise de fatos e também às prescrições e prognósticos. Segundo Gomide *et al.* (2015), a engenharia diagnóstica possui várias gradações – vistorias, inspeções, auditorias, perícias e consultorias – conforme profundidade do estudo, bem como existência ou não de prognósticos e prescrições técnicas. Ou seja, determinadas análises são mais superficiais e outras são mais apuradas ou voltadas à resolução de problemas observados.

A engenharia diagnóstica em edifícios existentes deve se pautar em métodos de coleta de dados em campo, preferencialmente indicando as características ou critérios usados para avaliação de cada elemento, sistema construtivo etc. Caso haja mais de um critério e mais de um elemento a ser analisado, a avaliação torna-se multicritério. Existem casos, como os estudos de estado de conservação (PEDRO *et al.*, 2013), em

que o avaliador estabelece parâmetros, como notas de 0 a 10, ou respostas em que requisitos são “atendidos” ou “não atendidos”.

Segundo a norma NBR 5674 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015, p. 3-4), um relatório básico de inspeção deve ser estruturado e ordenado, tendo:

- a) uma vistoria *in loco* guiada por um roteiro de quais sistemas, subsistemas, elementos, equipamentos e componentes da edificação devem ser vistoriados;
- b) descrição das degradações de cada item elencado no item acima, considerando apontamentos e estimativas de perda de desempenho, bem como solicitações e reclamações de usuários;
- c) recomendações e prognósticos.

Quanto ao formato de relatórios e aos modelos para registrar os diagnósticos, para os autores (2015, p. 39) a representação gráfica é bastante importante:

As ilustrações são essenciais para os trabalhos de Engenharia Diagnóstica, pois possibilitam a qualquer observador visualizar o que se pretende registrar ou analisar. Todas as ferramentas e em praticamente todas as fases da Engenharia Diagnóstica é recomendável a diligência com a vistoria do imóvel, motivo de atenção especial nessa constatação através das ilustrações.

Evidentemente, são diversas as formas possíveis de se ilustrar os relatórios, tais quais os desenhos, as filmagens e as fotografias.

A representação de diagnósticos geralmente é feita através de plantas, desenhos, fotos, entre outros. É recorrente o uso de mapas de danos em processos de restauro patrimonial. Rangel (2019, p. 28) indica que há uma grande variedade nos tipos de mapas de danos, com alternativas quanto ao método e à própria criatividade do profissional que os executam. Tinoco (2009, p. 4) define que:

o mapa de danos é um documento gráfico-fotográfico que sintetiza o resultado das investigações sobre as alterações estruturais e funcionais nos materiais, nas técnicas, nos sistemas e nos componentes construtivos.

Um exemplo de mapa de danos (Figura 27) mostra um desenho de fachada, em que hachuras e cores correspondem às patologias e problemas em sistemas desta vedação vertical. Este material de representação ilustra informações dimensionais e espaciais do edifício existente junto com uma análise profissional quanto ao estado de conservação dos materiais das superfícies construtivas, de forma resumida. Geralmente mapas de danos deste tipo se associam com um documento em formato de relatório textual em que é possível obter maiores detalhes da análise dos danos.

Figura 27 – Exemplo de mapa de danos em fachada elaborado em *AutoCad*

Fonte: Correa (2011<sup>12</sup> apud Rangel, 2019, p. 29).

#### 2.4.4 Avaliação Pós Ocupação (APO)

A Avaliação Pós Ocupação (APO) é uma área de pesquisa tradicional e um método de trabalho que se baseia no “princípio básico de que as edificações [...] em uso [...] devem estar em permanente avaliação, quer do ponto de vista construtivo e espacial, quer do ponto de vista de seus usuários” (FAUUSP<sup>13</sup>). Como resultado, a APO traz subsídios para que aspectos positivos e negativos aferidos no edifício existente sejam retrabalhados em novos projetos semelhantes – sob a lógica de “lições aprendidas” – e também em reabilitações, portanto, realimentando futuros processos.

<sup>12</sup> CORREA, R. H. **Mapa de danos de edifícios históricos: proposta de simbologia gráfica**. Campinas: UNICAMP, 2011.

<sup>13</sup> FAUUSP - Disponível em: <http://www.fau.usp.br/disciplinas-pos-graduacao/avaliacao-pos-ocupacao-apo-do-ambiente-construido/>. Acesso em: 12 abr. 2020.



A APO é baseada em técnicas e métodos, tais como as de obtenção de dados envolvendo usuários e outras pessoas chave relacionadas ao edifício (ferramentas como entrevistas, questionários, grupos focais, observação do comportamento de uso entre outros para medir o grau de satisfação) como também métodos de avaliação especializada em sistemas construtivos e aspectos técnicos (*checklist*, registros fotográficos, levantamentos dimensionais, medições de temperatura e umidade entre outros, para aferir a adequação frente ao desempenho esperado).

Resultados recorrentes de APOs são quadros diagnósticos com aspectos positivos e negativos, comentários embasados em normas técnicas, recomendações e prescrições de melhoria de desempenho da construção, bem como melhorias de uso espacial e operacional. Segue exemplo de quadro diagnóstico com recomendações em estudo APO para o Museu do Futebol desenvolvido em 2018 (Quadro 8). Nele, pode-se ver pequeno fragmento de estudo quanto à segurança no uso e conforto tátil e antropodinâmico, em que se apontam os ambientes e critérios avaliados *in loco* (embasados em normas), com recomendações de adequação no edifício existente. Apesar de questionários com usuários apontarem satisfação com as questões de segurança, foi possível observar que sistemas destinados a este fim não estavam atendendo rigorosamente às normas vigentes.

Quadro 8 – Exemplo de quadro diagnóstico e de recomendações da APO

AMBIENTE	NOME	REQUISITO NORMA- TIVO	CRITÉRIO DE DESEMPENHO FÍSICO	ATENDI- MENTO AO CRITÉRIO	DIAGNÓSTICO FÍSICO: POR ELEMENTO CONSTRUTIVO / SISTEMA	RECOMEN- DAÇÕES
<b>1o. Pavimento - Ala Leste</b>	Ambient e 1	NBR 15.575, suas citadas e NBR 14.718	Critérios: adequações guarda-corpo, piso e elementos construtivos	<b>NÃO ATENDE</b>	Em guarda-corpo, esfera ultrapassou espaço entre chão e primeiro elemento horizontal.	Adequação de guarda-corpo (inferior)
<b>1o. Pavimento - Ala Leste</b>	Ambient e 2	NBR 15.575, suas citadas e NBR 14.718	Critérios: adequações guarda-corpo, piso e elementos construtivos	<b>ATENDE</b>	-	-
<b>1o. E 2o Pavimento - Ala Leste</b>	Ambient e 3	NBR 15.575 e suas citadas	Critérios: adequações elementos construtivos	<b>NÃO ATENDE</b>	Riscos de ferimentos nos elementos construtivos de painéis e sistemas elétricos, que por estarem abertos na Sala das Origens, possibilitam acesso a pequeno espaço com contundências e cabos elétricos e tomadas aparentes	Proteção de painéis e equipamentos

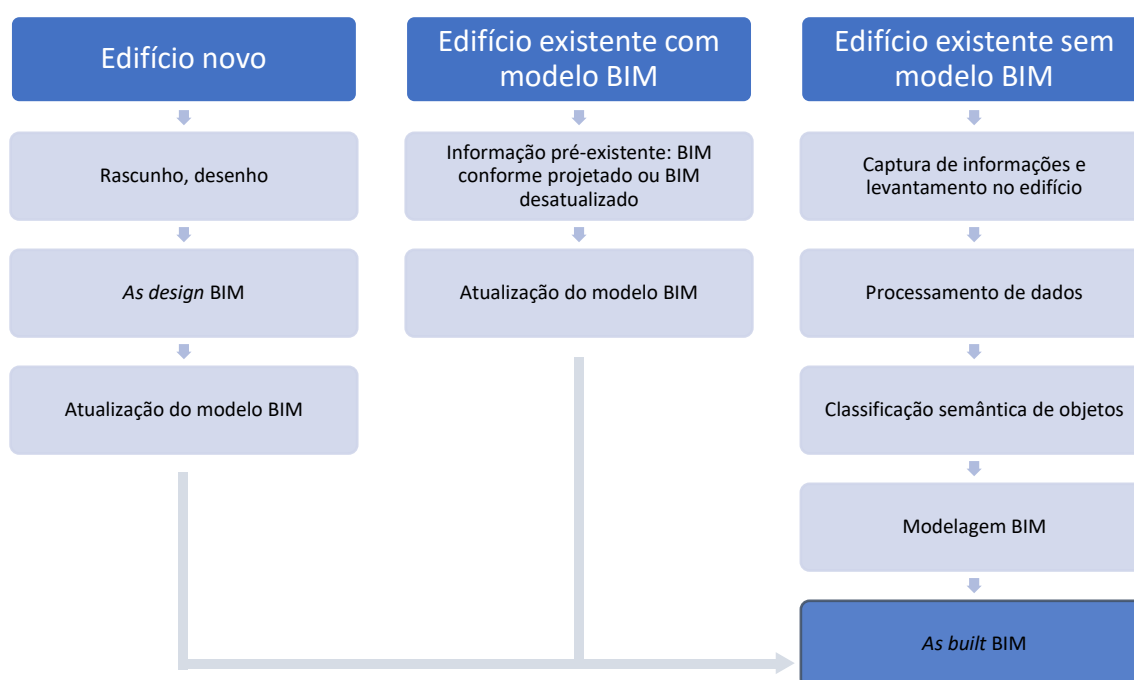
Fonte: MENDES *et al.* (2018). Fragmento de quadro APO.

Ornstein (2017) aponta que, entre as potencialidades observadas recentemente na APO, há o emprego do BIM – incluindo as etapas de operação e manutenção do edifício.

## 2.4.5 Uso de dados capturados e modelagem em BIM para projetos de reabilitação e reforma

O levantamento de dados da pré-existência da construção, conforme ilustrado no Esquema 7, é uma parte importante das etapas de projeto de reabilitação, podendo beneficiar, de diversas maneiras, a equipe de projetos e obra, dentro de um contexto processual BIM (como visto na seção 2.3). Para desenvolver este levantamento, existem diversas metodologias de captura de dados, conforme ilustrado no Esquema 4 e como abordado nas seções anteriores desta pesquisa. A transformação destes dados capturados em modelos BIM, é um processo de difícil automatização e um serviço altamente especializado atualmente, portanto, configura num dos desafios deste campo de pesquisa e atuação profissional.

Esquema 7 – Processos de criação de modelo BIM para edifícios novos e existentes



Fonte: Adaptado de Volk *et al.*, 2013. Tradução nossa.

Ao comparar o processo de modelagem BIM de dados capturados com técnicas avançadas com o método tradicional de representação, percebe-se que o modelo e processo BIM possui algumas vantagens. Rangel (2019, p. 31-32), por exemplo, explica que existem limitações em representações 2D de mapeamento de danos, tal

como apresentado na Figura 27, entre elas a falta de habilidade do desenho expressar dados na terceira dimensão, além de outros dados como custos de reparação, fotografias, informações não gráficas etc. Mais que isso, indica que haveria um descompasso dos mapas de danos 2D com o objetivo da reabilitação: fornecer dados completos da atividade. Assim, a autora indica que seria importante sistematizar o uso do BIM no que compete a representação e explorar as suas potencialidades, como o modelo geométrico, os dados paramétricos, as informações acopláveis ao modelo, tais como fotos, bem como a interoperabilidade entre equipes de projeto.

O LOD (Nível de Detalhe) de modelos de edifícios existentes pode ser definido conforme a funcionalidade a que se destina, determinando também as formas de obtenção de dados, processamento e criação dos modelos. Identificar as metodologias de captura adequadas à modelagem BIM para reabilitação é um passo importante. Segundo Tang *et al.* (2010, p. 833), a definição dos *outputs* (resultados ou saídas) desejadas do processo de modelagem ajudam a especificar a técnica usada para este processo. Segundo Volk *et al.* (2013, p. 120), para definir o método de captura, “os requisitos de funcionalidade determinam o LOD” e esta definição passa pelos aspectos de processamento, como volume de dados, tempo e esforço. Para Tang *et al.* (2010, p. 833), além do LOD, entre os requisitos para definição do método de captura, estão os tipos de objetos e o nível da semântica desejado a ser modelado:

Em algumas aplicações, como validação do programa espacial, apenas componentes principais (como paredes e colunas) precisam ser modelados, enquanto em outras aplicações, como em documentações de edifícios históricos, os detalhes de até mesmo objetos pequenos são importantes. Além disso, diferentes usos envolvem distintos tipos de modelagem e complexidades de objetos, variando de simples paredes planas num edifício de escritórios a componentes detalhados de canos e equipamentos numa planta industrial. Finalmente, em alguns casos, a semântica completa de um modelo BIM pode não ser requisitada.

Os *inputs* (as entradas, ou dados que podem ser obtidos a priori) podem também ajudar o processo de modelagem BIM segundo Tang *et al.* (2010, p. 833), sendo projetos disponíveis em 2D, plantas, elevações, modelos geométricos 3D, ou até mesmo modelos BIM.

Em casos de escaneamento a *laser* e fotogrametria, o processamento de dados envolve o registro, alinhamento e fusão das várias cenas no mesmo sistema de

coordenadas. Depois, os dados são limpos, removendo informações irrelevantes e imprecisas. Estes processos geralmente são feitos em softwares especializados em engenharia reversa e, até pouco tempo atrás, não costumavam possuir capacidades de representação da volumetria e capacidades BIM de modelagem (TANG *et al.*, 2010, p. 831); geralmente, o reconhecimento de objetos, componentes, características, relação entre elementos, é feito de forma manual ou semiautomática.

Existem estudos da engenharia civil e computação com tentativas de desenvolvimento de algoritmos para automatização de reconhecimento de objetos e relação entre objetos, como a criação de regras do tipo “paredes são superfícies verticais” e “pisos e lajes, horizontais”, contudo ainda em etapa inicial (TANG *et al.*, 2010, p. 841). Recentemente, algumas tecnologias estão sendo implementadas no mercado, tais como o *PointSense*, plugin da Faro para o Revit (FARO, YouTube) – substituído recentemente pelo *As-built da Faro* –, que permite o reconhecimento automático de elementos básicos do edifício representados na nuvem de pontos, modelando-os em elementos dentro do modelo, como parede, pilares, portas, janelas. Um dos desafios da automatização é a diferença entre a realidade de superfícies e construções imperfeitas (paredes irregulares e não planas, por exemplo) e as regras semânticas dos objetos e elementos que podem ser modelados em aplicações BIM. Além disso, sabendo que a captura de dados decorrente de técnicas avançadas como o escâner a *laser* também possui imperfeições, como imprecisões, dados confusos e dados ocultos, este seria outro desafio da tentativa de automatização do processo.



### 3. RESULTADOS

Esta pesquisa obteve resultados, os quais foram divididos em 3 partes: (1) Testes e experimentos; (2) Entrevistas; (3) Guia prático e resumido para captura de dados da realidade existente para projetos de reformas. Com base nas referências (Capítulo 2 de REVISÃO BIBLIOGRÁFICA), nos testes e experimentos, bem como em algumas entrevistas, o objetivo da pesquisa foi desenvolver um guia sobre o uso de ferramentas e processos avançados, auxiliando profissionais e estudantes da AECO no uso destas técnicas.

Conforme citado no Capítulo 1.3 de Metodologia, testes e experimentos com ferramentas de captura e processamento de dados em programas computacionais – alguns compatíveis com metodologias e ferramentas BIM – foram conduzidos, conforme ilustrado no APÊNDICE A. O resumo dos resultados deste apêndice está descrito na seção 3.1 Testes e experimentos.

Além disso, entrevistas com profissionais do mercado foram conduzidas para confirmar a identificação do problema desta pesquisa e também para avaliar o APÊNDICE C – este assunto será abordado na seção 3.2 Entrevistas.

Finalmente, visto o referencial teórico, as experiências de profissionais do mercado e os testes e experimentos conduzidos, se propôs a estrutura revisada do artefato a ser mostrado no APÊNDICE C.

#### 3.1 Testes e experimentos

A seguir serão mostrados os resultados dos experimentos executados pela autora, demonstrando resultados e limitações desses testes.

Conforme mencionado no Quadro 1 do Capítulo 1.3 de Metodologia, os testes foram conduzidos em 8 locais, totalizando 24 experimentos com 6 técnicas de captura de dados distintas (fotogrametria terrestre com Câmera DSLR; fotogrametria terrestre com câmera 360°; fotogrametria aérea com câmera embarcada em VANT; escâner a laser terrestre; escâner de mão; termógrafo). Tais experimentos estão ilustrados de

forma detalhada no APÊNDICE A. Cada um dos experimentos possui objetos de captura de dados específicos, tais como objetos isolados (móveis, elementos como paredes, pilares, fachadas etc.), ou ambientes inteiros (salas de aula, sala de estar residencial, espaços de escritório corporativo, capela etc.).

Os testes foram descritos de forma a mostrar diversos aspectos, tais como os listados a seguir (com pequenas variações, a depender do experimento):

- Método de captura de dados;
- Objeto;
- Objetivo da captura;
- Tempo da captura;
- Quantidade de capturas;
- Condições da captura;
- Uso de marcadores ou referências em campo;
- Condições do objeto;
- Método de processamento de dados capturados para nuvem de pontos;
- Avaliação dos resultados do processamento da nuvem;
- Aspectos da Modelagem BIM;
- Tempo de modelagem;
- Avaliação dos resultados da modelagem.

O APÊNDICE A mostra sucessos e insucessos dos experimentos, ilustrando as tentativas e até mesmo falhas de implementação das boas práticas descritas na literatura (sobretudo a seção 2.4 de Dados e análises sobre o edifício existente) e das boas práticas experimentadas empiricamente ou com apoio de profissionais experientes no tema.

Dos 24 experimentos, 2 foram feitos com termógrafo, sem objetivo de desenvolver modelagem BIM. Quanto aos demais testes (22 casos), o Quadro 9 ilustra de forma resumida as análises básicas a respeito dos resultados alcançados, conforme os seguintes aspectos:

- **Testes e experimentos:** descreve a numeração dos casos;
- **Método de captura:** descreve o equipamento usado para a obtenção de dados em campo;



- **Tamanho relativo do objeto:** é feita uma análise relativa (pequeno, médio ou grande) de tamanho dos objetos (móveis, elementos construtivos, espaços, edifícios) que tiveram dados capturados;
- **Tempo de captura:** mostra quanto tempo durou, em minutos e aproximadamente, a captura de dados em campo;
- **Classificação relativa das condições de captura:** dentre muitos aspectos mencionados sobre as condições de captura (emprego de boas práticas de captura, como uso de marcadores e referências, boa condição de iluminação, ausência de objetos de obstrução etc.), classificou-se de forma simples e relativa entre os casos, a circunstância da captura de dado, entre “ruim”, “regular” e “bom”;
- **Ferramenta de processamento (nuvem de pontos):** descrição do programa utilizado para a obtenção de nuvem de pontos, após uso de equipamento de captura em campo;
- **Tempo de processamento para nuvem de pontos (minutos):** mostra quanto tempo durou, em minutos e aproximadamente, o processamento dos dados obtidos em campo dentro do programa de processamento de dados;
- **Resultado relativo (nuvem de pontos):** análise resumida e simples, relativa entre os casos, mostrando se a nuvem obteve uma qualidade minimamente boa (nuvem foi gerada com alguma representatividade frente ao objeto real) ou se a nuvem não teve êxito (não houve mínima representatividade frente ao objeto real);
- **Avaliação dos resultados (nuvem de pontos):** classificação do nível de qualidade obtida da nuvem de pontos, entre as gradações “boa”, “média” e “baixa”.
- **Ferramenta de modelagem:** descrição do programa utilizado para modelagem BIM, com base na nuvem de pontos;
- **Tempo de modelagem:** mostra quanto durou, aproximadamente e em minutos, a modelagem;
- **Resultado relativo do modelo:** descreve, de forma relativa entre os casos, a classificação simplificada em 3 níveis de qualidade e detalhamento (“bom”, “médio”, “baixo”).

Quadro 9 – Resumo das análises dos experimentos principais

Testes e experimentos	Método de captura	Tamanho relativo do objeto	Tempo de captura (minutos)	Quantidade de capturas	Classificação relativa das condições de captura	Ferramenta de processamento (nuvem de pontos)	Tempo de processamento para nuvem (minutos)	Resultado relativo (nuvem de pontos)	Avaliação dos resultados (nuvem de pontos)	Ferramenta de modelagem	Tempo de modelagem (minutos)	Resultado relativo (modelo)
Caso 1	Câmera DSLR	Peq.	3	14 fotos	Ruim	Agisoft Meta-shape	6	Não obteve êxito na geração de nuvem	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Caso 2	Câmera DSLR	Médio	8	85 fotos	Regular	Agisoft Meta-shape	50	Nuvem foi gerada	Nuvem de qualidade mediana	Autodesk Revit	15	Modelo com baixo grau de detalhe
Caso 3	Câmera DSLR	Peq.	6	59 fotos	Ruim	Agisoft Meta-shape	35	Não obteve êxito na geração de nuvem	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Caso 4	Câmera DSLR	Peq.	4	43 fotos	Bom	Autodesk Recap Photo	40	Nuvem foi gerada	Nuvem de qualidade boa	Autodesk Revit	20	Modelo bom, com médio grau de detalhe
Caso 5	Câmera DSLR	Médio	6	66 fotos	Regular	Agisoft Meta-shape	25	Nuvem foi gerada	Nuvem de qualidade mediana	Autodesk Revit	25	Modelo de qualidade média
Caso 6	Câmera DSLR	Peq.	9	42 fotos	Ruim	Agisoft Meta-shape	35	Não obteve êxito na geração de nuvem	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Caso 7	Câmera DSLR	Médio	4	38 fotos	Bom	Agisoft Meta-shape	45	Nuvem foi gerada	Nuvem de qualidade mediana	Autodesk Revit	10	Modelo de qualidade média

Testes e experimentos	Método de captura	Tamanho relativo do objeto	Tempo de captura (minutos)	Quantidade de capturas	Classificação relativa das condições de captura	Ferramenta de processamento (nuvem de pontos)	Tempo de processamento para nuvem (minutos)	Resultado relativo (nuvem de pontos)	Avaliação dos resultados (nuvem de pontos)	Ferramenta de modelagem	Tempo de modelagem (minutos)	Resultado relativo (modelo)
Caso 8	Câmera DSLR	Médio	10	103 fotos	Bom	Agisoft Meta-shape	30	Nuvem foi gerada	Nuvem de qualidade boa	Autodesk Revit	15	Modelo bom, com médio grau de detalhe
Caso 9	Câmera DSLR	Médio	13	164 fotos	Regular	Agisoft Meta-shape	60	Nuvem foi gerada	Nuvem de qualidade baixa	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Caso 10	Câmera DSLR	Médio	5	71 fotos	Regular	Agisoft Meta-shape	60	Nuvem foi gerada	Nuvem de qualidade baixa	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Caso 11	Câmera DSLR	Peq.	3	32 fotos	Bom	Agisoft Meta-shape	30	Nuvem foi gerada	Nuvem de qualidade boa	Autodesk Revit	30	Modelo bom, com médio grau de detalhe
Caso 12	Câmera DSLR	Peq.	10	125 fotos	Bom	Agisoft Meta-shape	40	Nuvem foi gerada	Nuvem de qualidade boa	Autodesk Revit	15	Modelo bom, com médio grau de detalhe
Caso 13	Câmera DSLR	Peq.	3	56 fotos	Regular	Agisoft Meta-shape	40	Nuvem foi gerada	Nuvem de qualidade mediana	Autodesk Revit	15	Modelo de qualidade média
Caso 14	Câmera 360º	Peq.	17	34 fotos	Bom	Agisoft Meta-shape	50	Nuvem foi gerada	Nuvem de qualidade boa	Autodesk Revit	40	Modelo bom, com médio grau de detalhe
Caso 15	Câmera 360º	Médio	10	38 fotos	Bom	Agisoft Meta-shape	80	Nuvem foi gerada	Nuvem de qualidade boa	Autodesk Revit	30	Modelo bom, com médio grau de detalhe

Testes e experimentos	Método de captura	Tamanho relativo do objeto	Tempo de captura (minutos)	Quantidade de capturas	Classificação relativa das condições de captura	Ferramenta de processamento (nuvem de pontos)	Tempo de processamento para nuvem (minutos)	Resultado relativo (nuvem de pontos)	Avaliação dos resultados (nuvem de pontos)	Ferramenta de modelagem	Tempo de modelagem (minutos)	Resultado relativo (modelo)
Caso 16	Câmera 360º	Médio	5	12 fotos	Regular	Agisoft Meta-shape	30	Nuvem foi gerada	Nuvem de qualidade mediana	Autodesk Revit	20	Modelo de qualidade média
Caso 17	Câmera em VANT	Grande	11	136 fotos	Bom	Agisoft Meta-shape	20	Nuvem foi gerada	Nuvem de qualidade mediana	Autodesk Revit	15	Modelo de baixo grau de detalhe
Caso 18	Escâner laser	Grande	60	14 cenas	Bom	Faro Scene	60	Nuvem foi gerada	Nuvem de qualidade boa	Autodesk Revit	60	Modelo bom, com médio grau de detalhe
Caso 19	Escâner laser	Médio	20	4 cenas	Bom	Autodesk Recap	10	Nuvem foi gerada	Nuvem de qualidade boa	Autodesk Revit	60	Modelo bom, com médio grau de detalhe
Caso 20	Escâner laser	Médio	40	8 cenas	Bom	Trimble RealWorks	60	Nuvem foi gerada	Nuvem de qualidade boa	Autodesk Revit	40	Modelo bom, com médio grau de detalhe
Caso 21	Escâner de mão	Peq.	5	2 cenas em movimento	Bom	DOT3PRO e Autodesk Recap	10	Nuvem foi gerada	Nuvem de qualidade boa	Autodesk Revit	20	Modelo bom, com médio grau de detalhe
Caso 22	Escâner de mão	Peq.	5	1 cena em movimento	Ruim	DOT3PRO e Autodesk Recap	5	Nuvem foi gerada	Nuvem de qualidade baixa	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica

Fonte: a autora.

Os casos que obtiveram maior sucesso foram aqueles em que foi possível desenvolver modelo de qualidade relativamente boa, com médio grau de detalhe. Foram os seguintes 10 experimentos: casos 4, 8, 11, 12, 14, 15, 18, 19, 20, 21. Em

termos de nível de desenvolvimento da modelagem, entende-se, de forma simplificada, que o LOD (nível de desenvolvimento) atingido nestes casos correspondeu aos objetivos da pesquisa, próximo ao nível 200, que seria desenvolver um modelo representado por sistema, objeto ou componente genérico com quantidades, tamanhos, formatos e orientações aproximadas (ASSOCIATED GENERAL CONTRACTORS OF AMERICA, 2019, p. 14). Seria possível avançar no nível de desenvolvimento de alguns destes casos, modelando informações obtidas em campo, sobretudo nos testes feitos com escâner a *laser* (casos 18, 19 e 20), visto que a qualidade e quantidade de informações capturadas foi maior.

Os 10 experimentos de maior sucesso obtiveram estes resultados devido a diversas razões, que serão exemplificadas a seguir.

Quanto à variável “método de captura” e “condições de captura”, percebe-se, dentre estes testes, que o escâner a *laser* teve melhores resultados, com maior sucesso na modelagem BIM (100% dos experimentos resultaram em bom modelo), seguido pela câmera 360°, escâner de mão e câmera DSLR (ver Quadro 9 e Tabela 2). O escâner a *laser* de fato possui maior capacidade de capturar dados, quantitativamente, frente aos outros métodos experimentados, conforme se pode constatar nas especificações do Quadro 31. Quanto à técnica de fotogrametria com base em dados capturados por câmera 360°, na seção de referências (2.4.1.2 Fotogrametria) foram mencionadas no estudo de Fangi e Nardinocchi (2013, p. 296) diversas vantagens no uso da metodologia, como o bom emprego em espaços reduzidos e também o bom aproveitamento de dados capturados mesmo com uma quantidade pequena de fotografias, visto que é capturada uma grande quantidade de informação por foto, na comparação com as fotos obtidas com câmeras DSLR. Em relação ao escâner de mão, foram feitos poucos testes, contudo observou-se que o método funciona bem para objetos pequenos, opacos e com baixa refletividade. A fotogrametria derivada de fotos com câmera DSLR foi o método mais testado nesta pesquisa, com 13 experimentos, permitindo o teste de diversos objetos de estudo, de diferentes tamanhos e com condições de captura; constatou-se que o domínio de parâmetros controláveis ou parcialmente controláveis, como iluminação, sobreposição de imagens, estabilização (tripé) e obstrução de visão direta ao objeto, bem como a seleção de objetos adequados à metodologia (por exemplo, superfícies com contraste e texturas, tendo materiais e cores heterogêneos) são aspectos essenciais para o

sucesso do uso da técnica. Quanto à fotogrametria derivada de fotos aéreas de VANT, uma vez que foi conduzido apenas um teste com um objeto grande de captura (edifício inteiro), a análise pode não ser conclusiva, todavia foi possível observar que o caso resultou num modelo de qualidade média, visto a falta de controle de alguns fatores, tais como condições de captura (exemplo: obstruções de vegetação).

Tabela 2 – Taxa de sucesso dos experimentos, conforme técnica e tamanho, conforme o Quadro 9

<b>Taxa de sucesso conforme tamanho e técnica</b>	<b>Tamanho do objeto</b>	<b>(Resultado A) Quantidade de casos com resultado de modelagem classificado "bom" no Quadro 9</b>	<b>(Resultado B) Quantidade de casos totais</b>	<b>Percentual de sucesso dos experimentos = Resultado A / Resultado B</b>
<b>Câmera DSLR</b>	Peq.	3	7	42,86%
	Médio	1	6	16,67%
	Grande	0	0	N/A
<b>Câmera 360º</b>	Peq.	1	1	100,00%
	Médio	1	2	50,00%
	Grande	0	0	N/A
<b>Câmera em VANT</b>	Peq.	0	0	N/A
	Médio	0	0	N/A
	Grande	0	1	0,00%
<b>Escâner de mão</b>	Peq.	1	2	50,00%
	Médio	0	0	N/A
	Grande	0	0	N/A
<b>Escâner a laser</b>	Peq.	0	0	N/A
	Médio	2	2	100,00%
	Grande	1	1	100,00%

Fonte: a autora.

Em relação à variável “tamanho relativo do objeto”, conforme a Tabela 2, constatou-se que, nos casos em que se dispôs de técnicas de fotogrametria (câmeras no geral) e escâner de mão, objetos menores tiveram melhores resultados. Quanto à fotogrametria com VANT, especificamente, visto que apenas um teste foi feito, não será possível analisar detalhadamente a técnica, contudo pode-se dizer que o caso 17 teve sucesso relativo, uma vez que permitiu que um grande objeto (prédio) fosse registrado em modelo volumétrico de massa. Sobre a ferramenta de escâner de mão utilizada nesta pesquisa, a mesma foi desenvolvida para obtenção de dados de objetos pequenos, tendo limitação de armazenamento e processamento no programa (software) e no tablet (hardware), conforme constatou a autora durante os

experimentos em campo. Já em relação ao escâner a *laser*, a técnica permitiu a obtenção de dados de objetos maiores, devido às características dos equipamentos usados, que possuem grande capacidade de armazenamento de dados, bem como amplo campo de visão e alcance do *laser* (ver Quadro 31).

Quanto à variável “tempo de captura” em minutos, a Tabela 3 ilustra resultados dos experimentos da pesquisa. É importante salientar que algumas distorções de duração de captura ocorreram: por exemplo, nos 3 casos do escâner a *laser*, demoraram mais que o normal, visto que os 3 equipamentos testados foram usados por professores ou profissionais habilitados em exercícios de ensino (ou seja, as atividades foram executadas no contexto de aula de operação do equipamento). Contudo, pode-se analisar o seguinte: nos casos dos equipamentos câmera DSLR e escâner a *laser*, quanto maior o objeto, maior o tempo de duração da captura. Sobre a câmera 360º, o tempo de captura para um ambiente pequeno foi maior do que para os testes em ambientes médios, contudo, esta análise é resultante de uma distorção causada pela quantidade excessiva de fotos tomadas neste espaço pequeno, que acabou consumindo maior tempo durante o aprendizado da autora. A Tabela 4 não demonstra relevante correlação entre duração da captura e a classificação de qualidade do resultado do modelo.

Tabela 3 – Tempo de captura médio (em minutos) por classificação de tamanho do objeto, referente ao Quadro 9.

	<b>Tempo de captura médio (minutos) para todos os casos</b>	<b>Tempo de captura médio (minutos) para objetos pequenos</b>	<b>Tempo de captura médio (minutos) para objetos médios</b>	<b>Tempo de captura médio (minutos) para objetos grandes</b>
Câmera DSLR	6	5	8	N/A
Câmera 360º	11	17	8	N/A
Câmera em VANT	11	N/A	N/A	11
Escâner de mão	5	5	N/A	N/A
Escâner a <i>laser</i>	40	N/A	30	60

Fonte: a autora.

Tabela 4 – Tempo de captura médio (em minutos) por classificação de resultado do modelo, referente ao Quadro 9.

	<i>Tempo de captura médio (minutos) para todos os casos</i>	<i>Tempo de captura médio (minutos) para modelos classificados "bom"</i>	<i>Tempo de captura médio (minutos) para modelos classificados "qualidade média"</i>	<i>Tempo de captura médio (minutos) para modelos classificados "baixo grau de detalhe" ou "não se aplica"</i>
Câmera DSLR	6	7	4	8
Câmera 360º	11	14	5	N/A
Câmera em VANT	11	N/A	N/A	11
Escâner de mão	5	5	N/A	5
Escâner a <i>laser</i>	40	40	N/A	N/A

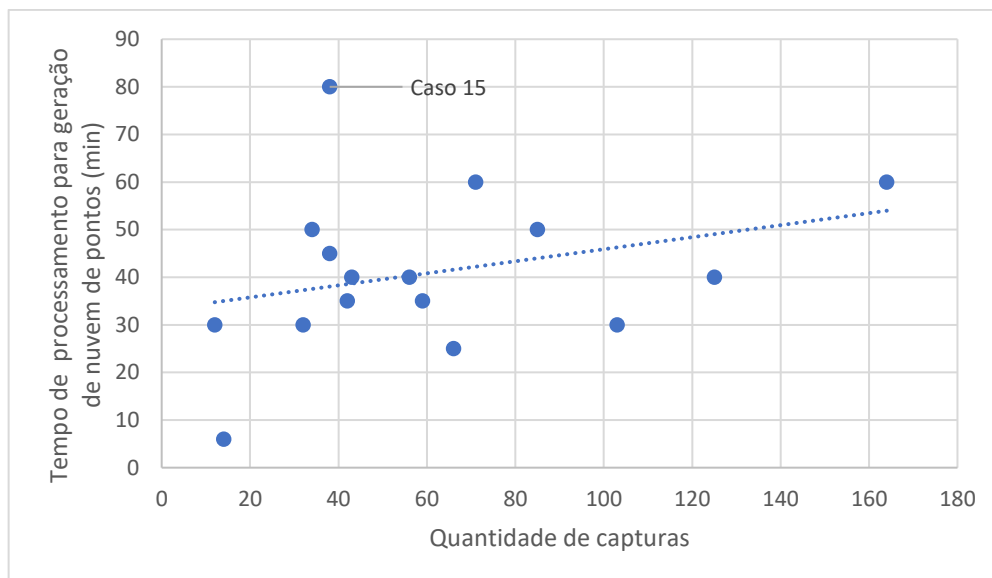
Fonte: a autora.

Sobre o parâmetro de tempo médio de processamento de fotos para nuvem de pontos, referente ao Quadro 9, em casos de modelos classificados como “bom” foi de 45 minutos, já em modelos de qualidade mediana e com baixo grau de detalhe, as médias foram iguais, de 35 minutos.

Fazendo uma análise simplificada, quanto maior for o número de fotos, maior o tempo necessário de processamento para geração de nuvem de pontos, conforme se pode ver Quadro 10 – exceto o caso mais distante da linha de tendência, o caso 15, em que pouca quantidade relativa de fotos 360º demandou um grande tempo de processamento. A correlação calculada entre “quantidade de capturas” e “tempo de processamento para nuvem” de pontos foi maior nos casos de câmeras 360º (0,87) e depois para DSLR (0,56). Sobre o escâner a *laser*, houve uma correlação de índice 0,80 entre a “quantidade de capturas” e “tempo de processamento” para desenvolvimento da nuvem.

Quadro 10 – Gráfico da relação entre quantidade de capturas (eixo x) com tempo de processamento para geração de nuvem de pontos em minutos (eixo y), para câmeras DSLR e 360º, segundo Quadro 9.





Fonte: a autora. Pontos representam os casos e a linha pontilhada, a tendência.

Não houve relevante correlação entre “quantidade de capturas” e “resultado relativo (modelo)”, conforme se pode ver Quadro 9, contudo, houve maior correlação entre “classificação relativa das condições de captura” e “resultado relativo (modelo)”. Com esta análise, pode-se inferir que um bom controle das condições de captura, quando possível de ser feito, é um fator que poderá beneficiar positivamente o resultado do trabalho de modelagem BIM do edifício existente.

Conforme descrito no Quadro 1 do Capítulo 1.3 de Metodologia, os testes foram conduzidos em 8 locais diferentes; grande parte destes experimentos foram conduzidos com apenas uma ferramenta de captura, contudo houve exceções, em que se pode destacar os casos listados a seguir:

- Estante em apartamento em São Paulo: captura com câmera DSLR (caso 4) e câmera 360° (caso 21);
- Fachada interna em prédio da EP Civil USP: captura com câmera 360° (caso 16), escâner a *laser* (caso 20) e escâner de mão (caso 22); e
- Sala de aula em prédio da EP Civil USP: captura com câmera DSLR (caso 13), câmera 360° (caso 15) e escâner a *laser* (caso 20).

Nos casos do objeto “estante”, classificado de pequeno tamanho nesta pesquisa, ambos os casos (4 e 21) tiveram resultados muito similares entre si em termos de nuvem de pontos e modelagem, comparando as duas técnicas empregadas de

captura (câmera DSLR e câmera 360°). Nos casos da fachada interna, objeto classificado de tamanho médio, a técnica de captura escâner de mão (caso 22) não teve êxito por problemas da tomada (apenas uma cena) e também devido à fatores da materialidade dos elementos (alta refletividade e translucidez); a câmera 360° (caso 16) resultou em qualidade média e o escâner a *laser* (caso 20) obteve maior sucesso em termos de nuvem de pontos e modelagem. Por último, nos casos da sala de aula, objeto médio-grande, a captura de dados com câmera DSLR (caso 13) se limitou a apenas uma parede deste objeto e resultou em nuvem e modelagem de qualidade média, enquanto nos testes com câmera 360° (caso 15) e escâner a *laser* (caso 20), conseguiram cobrir uma abrangência maior dos elementos (duas salas de aula contíguas), com resultados melhores e muito similares em termos de nuvem de pontos e modelagem.

Quanto às limitações dos testes executados, pode-se citar os seguintes aspectos:

- **A quantidade de testes:** exceto para o caso da ferramenta câmera DSLR, com 13 experimentos, as demais ferramentas foram testadas poucas vezes, podendo não ter grande representatividade nas análises dos resultados, conforme citado anteriormente nesta seção;
- **Testes executados com apoio de pessoas habilitadas:** os experimentos feitos com escâner a *laser* e com câmera em VANT tiveram apoio de profissionais, professores ou pesquisadores, em contextos de ensino (aula), por isso, podem ter demorado mais tempo durante captura em campo que o normal esperado;
- **Acesso e preço dos equipamentos:** foram feitos poucos experimentos com escâner a *laser*, escâner de mão, termógrafo e câmera 360° pelo fato de que tais ferramentas eram de propriedade de empresas e instituições parceiras à pesquisa, sendo pouco acessíveis, em termos de custo; tais equipamentos têm custos de aquisição mais altos, se comparados com a câmera DSLR (ver Tabela 5), o que também foi um fator para que testes no geral fossem executados com maiores cuidados operacionais, evitando avarias;

Tabela 5 – Custo das ferramentas usadas nos experimentos da pesquisa.

<b>Ferramenta</b>	<b>Preço</b>	<b>Fonte</b>
<b>Câmera DSLR:</b> Canon Rebel T100 + tripé	Câmera: R\$ 1.800,00. Tripé: R\$ 150,00.	Câmera: Canon. Tripé: a autora.
<b>Câmera 360°:</b> Insta360 One X	R\$ 3.500,00	Insta360.
<b>Câmera em VANT:</b> DJI Mavic Pro	R\$ 5.000,00 a R\$10.000,00, a depender do modelo.	a DJI.
<b>Escâner a laser:</b> - Faro Focus S 350 - Leica BLK360 - Trimble TX8	- Faro: R\$ 400.000,00 - Leica: R\$ 100.000,00 - Trimble: 60.000,00	Quadro 31
<b>Escâner de mão:</b> Trimble DPI-8	R\$ 49.990,00	IATEC PLANT SOLUTIONS.
<b>Termógrafo:</b> Flir T420 (Flir T62101)	R\$ 45.000,00 aproximadamente	Quadro 40

Fonte: a autora.

- **Acesso e preço dos softwares para processamento de dados e modelagem:** ver Tabela 6. Para casos de fotogrametria (testes feitos com câmera DSLR e câmera 360°), foram usados programas computacionais *Agisoft Metashape Professional Edition* e *Autodesk Recap Photo* em versões de teste e educacional gratuitas, respectivamente; nos casos de escaneamento a laser, usou-se 3 programas distintos (*Faro Scene*, *Trimble RealWorks* e *Autodesk Recap*), todos eles em versão teste ou educacional gratuita; no caso do escâner de mão, foi usado o programa de tablet já instalado e acoplado ao escâner, que é o *DOT3PRO*, e posteriormente, os dados processados foram usados no *Autodesk Recap* educacional gratuito. Após a conversão dos dados de nuvem de todos os casos citados, tais informações foram usadas para modelagem BIM no programa *Autodesk Revit* em versão também educacional gratuita. É importante ressaltar que tais softwares possuem custo relevantemente alto, conforme se constata na Tabela 6. Não foi possível usar os programas listados nesta tabela por longo período para maior detalhamento

dos experimentos, devido à limitação de tempo da gratuidade destes programas. Também foi uma restrição desta pesquisa a falta de acesso à programas computacionais específicos que buscam maior automatização do processo de modelagem, através da identificação de elementos BIM nos dados de nuvem de pontos, ou seja, para esta pesquisa, a autora modelou manual e visualmente os elementos BIM com base na nuvem de pontos.

Tabela 6 – Custo dos programas computacionais usados nos experimentos da pesquisa

<b>Programa computacional</b>	<b>Uso</b>	<b>Preço</b>	<b>Fonte</b>
<b>Agisoft Metashape Professional Edition</b>	Fotogrametria com controle de parâmetros (processamento de fotos, transformando dados em nuvem de pontos)	R\$ 18.200,00 aproximadamente	Agisoft <sup>14</sup>
<b>Autodesk Recap Photo</b>	Fotogrametria com baixo controle de parâmetros (processamento de fotos, transformando dados em nuvem de pontos)	Não mais disponível separadamente do Autodesk Recap.	A autora.
<b>Faro Scene</b>	Registro de dados obtidos em campo com escâner a <i>laser</i> , transformando-os em nuvem de pontos	Custo do equipamento já inclui programa.	Tabela 5
<b>Trimble RealWorks</b>	Registro de dados obtidos em campo com escâner a <i>laser</i> , transformando-os em nuvem de pontos	Informação não encontrada.	A autora.
<b>Autodesk Recap</b>	Registro de dados obtidos em campo com escâner a <i>laser</i> , transformando-os em nuvem de pontos	R\$ 5.600,00 aproximadamente, por 3 anos; ou R\$ 1.900,00 aprox., por 1 ano; ou R\$ 230,00 aprox. por mês.	Autodesk <sup>15</sup>

<sup>14</sup> AGISOFT. Online Store. Disponível em: <https://www.agisoft.com/buy/online-store/>. Acesso em: 22 jan. 2023.

<sup>15</sup> AUTODESK. Buy Recap Pro. Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/recap/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>. Acesso em: 22 jan. 2023.

<b>Programa computacional</b>	<b>Uso</b>	<b>Preço</b>	<b>Fonte</b>
<b>DOT3PRO</b>	Registro de dados obtidos em campo com escâner de mão, transformando-os em nuvem de pontos	Custo do equipamento já inclui programa.	Tabela 5
<b>Autodesk Revit</b>	Modelagem BIM	R\$ 41.800,00 aproximadamente, por 3 anos; ou R\$ 14.000,00 aprox., por 1 ano; ou R\$ 1.700,00 aprox. por mês.	Autodesk <sup>16</sup>

Fonte: a autora.

Assim, com base nas limitações da pesquisa anteriormente descritos, a autora indica que estudos adicionais sejam feitos em futuros trabalhos. Por exemplo, recomenda-se a investigação do LOD da modelagem BIM, com base nas variadas técnicas de captura de dados em edifícios existentes, sobretudo em casos em que o objetivo da captura é obter maior grau de desenvolvimento de projeto e detalhamento. Outro exemplo é o uso de câmeras em VANT, que poderia ser explorado em mais casos, de forma a delinear com maior profundidade o controle de parâmetros de captura para melhores resultados de modelagem. Ainda, é possível também citar a recomendação de se fazer testes numa maior variação de equipamentos *laser*, conforme suas distintas configurações disponíveis no mercado (tamanho, portabilidade, alcance, velocidade), a exemplo de ferramentas *laser* embarcadas em VANT, robôs e tripés móveis. Mais um exemplo de potenciais pesquisas adicionais seria aplicar teste de distintas ferramentas de captura para cenários específicos (variação de tamanho de ambiente, variação de propriedade dos materiais construtivos etc.), de forma a explorar quais destes equipamentos se adequam melhor a estes cenários. Por fim, pode-se também sugerir que pesquisas sejam aplicadas em projetos do início ao fim (desde a concepção e iniciação até etapa operacional do prédio), com o objetivo de

<sup>16</sup> AUTODESK. Buy Revit. Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>. Acesso em: 22 jan. 2023.

aferir direta e explicitamente os benefícios da antecipação de obtenção de informação durante a coordenação de projeto; a pesquisa desempenhada pela autora pode apenas aferir, neste momento, que as técnicas testadas possuem potenciais benefícios a mitigação de riscos relacionados à falta ou à inconsistência de informação sobre o edifício existente, riscos estes a exemplificar: na esfera do escopo, a incompatibilidade dos dados e a falta de detecção e de proposição para solução de patologias; na esfera dos cronogramas, atrasos de obra devido a inadequação projetual, originária de falta de informações base; na esfera dos custos, gastos não planejados, provenientes de registros incorretos das condições do edifício.

Quanto aos testes feitos com termógrafo (câmera térmica), casos 23 e 24, entende-se que são experimentos relevantes para a compreensão superficial do desempenho e características térmicas de elementos construtivos. No caso 23, por exemplo, foi possível averiguar que um elemento de janela de um apartamento possui grande variação de temperatura ao longo do dia, fato que a autora podia, antes dos experimentos, estimar apenas sem base em dados técnicos. No caso 24, o teste corroborou para a identificação da importância da ferramenta, que consegue detectar diferentes propriedades térmicas em diversos materiais construtivos. Portanto, visto que os testes com este equipamento foram poucos, entende-se que os resultados obtidos nestes experimentos tiveram pouca contribuição para os resultados gerais da pesquisa.

O termógrafo e outros tipos de ferramentas não testados nesta pesquisa – tais como georradar, decibelímetro, luxímetro –, podem ser relevantes na Engenharia Diagnóstica e em estudos diversos de estado de conservação. Esta pesquisa não abarcou detalhadamente a teoria nem a prática de tais tipos de análise do edifício existente, nem relacionou a Engenharia Diagnóstica à modelagem BIM, desta forma, entende que há oportunidade de exploração do tema em pesquisas futuras correlatas.

Por fim, é possível concluir que as técnicas testadas nesta pesquisa possuem sua relevância nos aspectos da experimentação e da averiguação do controle de parâmetros de captura de dados do edifício existente, processamento para nuvem de pontos e posterior modelagem simplificada, sobretudo no contexto de necessidade de obtenção de informação dimensional e geométrica das construções. Os testes expostos nesta pesquisa podem servir de referência – tanto nos casos com sucessos quanto nos insucessos – sobre possíveis empregos das técnicas experimentadas. A

aplicação de tais métodos tem potencial para facilitar as atividades de projetos de reformas na etapa inicial destes projetos, provendo o time de projetistas de dados base.

### **3.2 Entrevistas**

Foram realizadas entrevistas no início e no final da pesquisa, as quais serão descritas nas seções subsequentes.

#### **3.2.1 Entrevistas iniciais de pesquisa**

Foram realizadas algumas entrevistas com profissionais do mercado de Arquitetura, Engenharia e Construção. A condução das entrevistas foi não estruturada. Contudo, as entrevistas finalizaram com explanação e demonstração de algumas técnicas avançadas de captura de dados e modelagem de edifícios existentes, quando o entrevistado não possuía conhecimento sobre estes processos e ferramentas, gerando mais discussão sobre as potencialidades dos mesmos.

Duas das entrevistas foram conduzidas com projetistas de arquitetura que atuam há cerca de 7 anos no mercado. Uma entrevista foi feita com uma especialista BIM atuante em construtoras há cerca de 5 anos. E, finalmente, a quarta entrevista foi feita com uma especialista em técnica de escaneamento a *laser*, que também já atuou em escritórios de projetos.

##### **3.2.1.1 Entrevista com projetista de arquitetura e paisagismo**

A entrevista com o projetista de arquitetura e paisagismo resultou na obtenção das seguintes informações sobre os processos e ferramentas usados até então pelo profissional e seu escritório de projetos:

- a) **Escopo de trabalho do entrevistado:** projetos de arquitetura e paisagismo para parques municipais de São Paulo - SP, englobando reforma de sistemas de pisos e reforma de prédios auxiliares dos parques.
- b) **Base de dados dos trabalhos de reforma do entrevistado:**
- a. projetos *as built* desatualizados;
  - b. levantamentos topográficos;
  - c. fotos feitas com celular;
  - d. anotações e desenhos de vistorias feitas *in loco*, com desenhos *as built* impressos, onde eram feitas anotações das observações e medições tomadas com trena convencional; não houve preocupação com a obtenção de informações detalhadas dos edifícios existentes; houve apenas captura de dados de envoltórias, vãos (portas, janelas) e estruturas (vigas etc.), com o objetivo de corrigir desvios de grandes elementos construtivos nas bases *as built*.
- c) **Produtos elaborados pelo entrevistado:**
- a. Modelo BIM e projetos de reforma, incluindo plantas de demolição e planta de construção com elementos novos; modelo BIM geralmente era usado para estimativa de custos de elementos básicos, como alvenaria, concreto, revestimentos de piso e parede.

Nesta entrevista, foi importante notar que o projetista de arquitetura, bem como o time do escritório de projetos em que trabalha, possui conhecimento intermediário-avançado de modelagem BIM e programação. Contudo, as bases de dados com que trabalham e as técnicas de captura, excluindo a base topográfica, são simples – as *builts* desatualizados, bem como desenhos, anotações, fotos feitas em vistorias.

Ao final da entrevista, foram apresentados ao arquiteto entrevistado alguns produtos de técnicas avançadas de captura da realidade, como nuvens de pontos gerados por escâner a *laser* e por fotogrametria, bem como tour virtual feito a partir de fotos 360°. O profissional entendeu que as técnicas apresentadas possuíam potencial de utilização em processos de projeto desempenhados atualmente em seu escritório, com ganhos em produtividade.



### 3.2.1.2 Entrevista com projetista de arquitetura

A entrevista com a projetista de arquitetura resultou na obtenção das seguintes informações sobre os processos e ferramentas usados até então pela profissional em escritórios de projeto nos quais atua ou já atuou:

- a) **Escopo de trabalho da entrevistada:** projetos de arquitetura de edifícios residenciais, casas, lojas e edifícios públicos, tais como estações de trem da Companhia Paulista de Trem Metropolitanos - CPTM.
- b) **Base de dados dos trabalhos de reforma da entrevistada:**
  - a. projetos *as built* desatualizados;
  - b. levantamentos topográficos;
  - c. fotos feitas com celular;
  - d. bases arquitetônicas em CAD e modelos SketchUp (não paramétricos) feitos *in loco*, durante vistoria; medições feitas com trenas *laser* e observações de elementos construtivos principais, tais como envoltórias, vãos (portas, janelas) e estruturas (vigas etc.).
- c) **Produtos elaborados pela entrevistada:**
  - a. Projetos desenhados em CAD para reforma, incluindo plantas de demolição e planta de construção com elementos novos; modelo BIM geralmente era usado para estimativa de custos de elementos básicos, como alvenaria, concreto, revestimentos de piso e parede.

Nesta entrevista, foi importante notar que a projetista de arquitetura não possui conhecimento de modelagem BIM (contudo trabalha com equipe que operava processos e modelos BIM) e que tanto as bases de dados com que trabalha quanto as técnicas de captura, excluindo a base topográfica, são simples – *as built* desatualizados, bem como desenhos e medidas de trena *laser* obtidos em vistorias.

Ao final da entrevista, foram apresentados à arquiteta entrevistada alguns produtos de técnicas avançadas de captura da realidade, como nuvens de pontos gerados por escâner a *laser* e por fotogrametria, bem como tour virtual feito a partir de fotos 360°. A profissional entendeu que as técnicas apresentadas possuíam potencial de utilização em processos nos quais trabalha ou já trabalhou, com ganhos em produtividade. A profissional demonstrou interesse em obter informações de questões

práticas de contratação de serviços de capturas (fotos 360°, fotogrametria, escaneamento a *laser*), bem como do processamento e visualização dos dados capturados (extensões de arquivos, formas de visualização, formas de uso de dados).

### 3.2.1.3 Entrevista com coordenadora BIM de construtora

A entrevista com a coordenadora BIM de construtoras resultou na obtenção das seguintes informações sobre os processos e ferramentas usados até então pela profissional, no contexto de duas empresas, uma na qual trabalha atualmente e uma outra em que já atuou:

- a) **Escopo de trabalho da entrevistada:** interface com times internos e contratados de projetos, interface com empresas especializadas em topografia e captura da realidade, coordenação de equipes internas da empresa em que atua, incluindo inovação, BIM e construção.
- b) **Base de dados dos trabalhos de reforma da entrevistada:**
  - a. projetos *as built* desatualizados;
  - b. levantamentos topográficos;
  - c. levantamentos de escaneamento a *laser*;
  - d. fotos feitas com celular;
- c) **Produtos elaborados pela entrevistada:**
  - a. Coordenação de times de projeto e obra para elaboração de atividades especializadas em BIM, inovação e melhoria de processos.
  - b. Casos / projetos ilustrados a seguir.

Nesta entrevista, foi importante notar que a coordenadora possui conhecimento de modelagem e manipulação de dados BIM em nível avançado, já tendo atuado em projetos em que houve contratação de profissionais especializados em captura de dados com escaneamento a *laser*.

Uma vez que a entrevistada já possuía conhecimentos avançados sobre o assunto da pesquisa e da entrevista, optou-se por obter dados das experiências profissionais que pudessem contribuir para o desenvolvimento da pesquisa.

Seguem abaixo alguns casos ilustrados pela entrevistada:

- a) Objeto 1: Hospital existente com reforma e mudança de uso
  - a. Método de captura: escaneamento a *laser*;
  - b. Objetivo da captura: comparar espaços antes e depois da reforma;
  - c. Resultados: o teste foi feito na primeira etapa (antes da reforma), e não foi executado na segunda etapa (depois da reforma), pois a primeira experiência demonstrou alguns desafios e incompatibilidade com as metas esperadas para a captura;
  - d. Problemas: tempo de captura mais lento que o esperado (contratação de serviço de escaneamento com especificação de escâner inadequado); alcance do escâner também pode ter tornado o processo mais moroso do que o esperado, fazendo com que houvesse necessidade de muitas capturas no espaço; sendo o serviço contratado e pago por hora trabalhada em campo, a construtora contratante entendeu que a ineficiência do escâner tornava o serviço custoso.
- b) Objetos 2: Mercados em reforma
  - a. Método de captura: escaneamento a *laser*;
  - b. Objetivo da captura: obter modelos BIM *as built* para servir de base de projeto de reforma;
  - c. Resultados: arquivos de nuvem de pontos;
  - d. Problemas: houve problema no entendimento do escopo contratado. A construtora contratou especialista em escaneamento a *laser* para realizar capturas em edifícios de mercado. Os resultados apresentados pelo especialista foram as nuvens de pontos, e não os modelos BIM *as built*, devido ao erro de definição do escopo durante a etapa de contratação do especialista.
- c) Objeto 3: Shopping em etapa final de construção
  - a. Método de captura: escaneamento a *laser*;
  - b. Objetivo da captura: comparação do modelo BIM de projeto e *as built* ao final da obra;
  - c. Resultados: arquivos de nuvem de pontos para inserção em modelo BIM de projeto;
  - d. Problemas: time contratante envolvido não conseguiu operar nuvem no modelo BIM, devido ao grande tamanho do arquivo. O processamento de dados era muito “pesado”, ou seja, incompatível com os

computadores da empresa. Importante observar que a construtora contratante do escaneamento a *laser* possuía computadores compatíveis com programas de modelagem BIM, contudo, ao carregar o modelo BIM com a nuvem de pontos, estes computadores tornavam-se ineficientes e a comparação do modelo de projeto com a nuvem não obteve êxito. A entrevistada falou que computadores especializados e adequados ao processo proposto custariam cerca de R\$ 30.000,00, enquanto os computadores que a contratada dispunha custavam cerca de R\$ 8.000,00.

d) Objetos 4: Terrenos para a construção de edifícios residenciais

- a. Método de captura: escaneamento a *laser*;
- b. Objetivo da captura: desenhos de levantamentos planialtimétricos de terrenos e arquivos de visualização remota (nuvem de pontos);
- c. Resultados: desenhos de levantamentos planialtimétricos de terrenos e arquivos de visualização remota (nuvem de pontos);
- d. Observações: o uso de escâner a *laser* obteve êxito para o uso proposto, contudo cabe observar que os times contratados (especialistas em captura) e contratante (construtora) fizeram parceria de longo prazo, havendo o desenvolvimento de testes e processos de melhoria contínua. Os resultados dos primeiros testes foram insatisfatórios, mas com pouco desvio frente ao escopo que era esperado, por isso a contratada sugeriu pontos de progresso, que foram absorvidos à medida que outros testes e casos eram desempenhados. Um dos problemas já resolvidos foi a falta de linguagem técnica dos desenhos planialtimétricos, uma vez que o especialista em escaneamentos não conhecia a linguagem topográfica.

A profissional encerrou a entrevista concluindo que as pessoas que atuam no mercado de construção e projetos geralmente possuem conhecimentos abaixo do requerido para contratar e desempenhar capturas, bem como para manipular os dados capturados com escâner a *laser*. Além disso, destacou a importância de se ter recursos ferramentais adequados para os serviços propostos relacionados, como computadores com processadores eficientes.

### 3.2.1.4 Entrevista com profissional especialista em BIM e escaneamento a *laser*

A entrevista com a arquiteta e profissional especialista em BIM e escaneamento a *laser* resultou na obtenção das seguintes informações sobre os processos e ferramentas usados até então pela profissional, no contexto de duas empresas, uma na qual atua atualmente como especialista em BIM e escâner a *laser* e uma outra em que já atuou como projetista de arquitetura:

- a) **Escopo de trabalho da entrevistada:** venda e execução de serviços especializados para processos BIM e escaneamentos *laser*; anteriormente, trabalhou com gestão e desenvolvimento de projetos de arquitetura, bem como acompanhamento de obras.

Nesta entrevista, foi importante notar que a profissional possui conhecimento de modelagem e manipulação de dados BIM em nível avançado; quanto ao escaneamento a *laser* e captura de realidade existente em edifícios, a profissional também possui nível avançado de conhecimento e aplicação.

Uma vez que a entrevistada já possuía conhecimentos avançados sobre o assunto da pesquisa e da entrevista, optou-se por obter dados das experiências profissionais que pudessem contribuir para o desenvolvimento da pesquisa.

- a) **Escâner a *laser* que utiliza:** Leica BLK 360;
- b) **Custo do escanear *laser*:** R\$ 100.000,00 aproximadamente;
- c) **Situações ou materiais com problemas de captura:**
  - a. Ambientes muito claros;
  - b. Ambientes muito escuros;
  - c. Superfícies translúcidas;
  - d. Superfícies reflexivas, como azulejos, espelhos, vidros;
- d) **Especificações do escâner a *laser*:**
  - a. Em qualidade média, demora 3 minutos por tomada (ou seja, por cena), com 360 mil pontos capturados por segundo;
  - b. Alcance de 60 metros;
  - c. 1 bateria dura cerca de 2 horas, então recomenda-se dimensionar o trabalho e levar bateria reserva;

- d. Com uso de Ipad no Autodesk Recap Pro, é possível, através de Wi-fi, fazer a comunicação do escâner com o programa e visualizar o registro (a junção entre tomadas ou cenas feita automaticamente ou através de alvos inseridos pela pessoa que manipula os equipamentos) antes de trabalhar com os dados em outro programa, sendo, portanto, vantajoso visualizar a qualidade das nuvens de pontos coletadas e corrigir qualquer problema em campo;

A entrevistada citou que é possível fazer modelagem BIM da construção existente através do uso das nuvens de pontos capturadas em campo com escâner a *laser*. Com o uso de um programa como o *Autodesk Revit*, é possível inserir a nuvem no arquivo de modelagem. Com o uso da extensão (plugin) chamada *Leica Cloudworkx for Revit*, é possível visualizar a nuvem em trechos (através do uso da ferramenta clipping) e construir virtualmente os elementos encontrados no edifício existente.

### **3.2.2 Questionários finais da pesquisa**

Foram aplicados questionários a 17 pessoas do setor da AECO. Primeiro, os respondentes receberam e leram o guia elaborado, artefato resultante desta pesquisa (APÊNDICE C) e em seguida, responderam a perguntas, conforme descritas a seguir. Ver o APÊNDICE B para acessar os dados completos das informações fornecidas pelos respondentes do questionário.

A primeira pergunta diz respeito à profissão ou ocupação atual principal. Dos respondentes, aproximadamente 70,6% são arquitetos(as), 11,8% são estudantes, professores(as) ou pesquisadores(as), 5,9% é engenheiro(a) e 5,9% é gestor(a) de propriedade.

A segunda pergunta aborda o nível de conhecimento sobre o tema abordado no guia, em que aproximadamente 46,2% responderam “Médio”, 38,5% responderam “Baixo” e 15,4% responderam “Alto”.

A terceira pergunta estava relacionada com o histórico do respondente, a fim de saber se já fez ou participou de projetos e obras de reforma, em que 87,5% responderam “Sim” e 12,5% responderam “Não”.

A quarta questão buscou saber se os respondentes já fizeram levantamentos dimensionais, geométricos e/ou análises em campo a fim de usar estes dados como base para desenvolvimento de projeto de reforma. 62,5% responderam “Sim” e 37,5% responderam “Não”.

A quinta questão está relacionada com a experiência do respondente, buscando saber se já usou os equipamentos e as metodologias abordadas no guia (fotogrametria, escaneamento a laser, modelagem de edifícios existentes), em que 43,8% responderam que “Sim” e 56,3% responderam que “Não”.

A sexta questão era uma pergunta aberta, para caso os respondentes tivessem respondido “Sim” nas perguntas 5 e/ou 6, que descrevessem quais técnicas utilizaram. Dos 17 participantes, 12 responderam à questão, sendo que 6 usaram as técnicas descritas no guia e os demais 6 utilizaram técnicas convencionais, como trena, trena a laser, nível, fotos e anotações à mão.

A sétima pergunta, também aberta, era sobre as experiências dos respondentes, buscando saber os benefícios e limitações do uso de suas ferramentas de captura de dados em campo. Segundo os respondentes e conforme é possível analisar no APÊNDICE B, os métodos convencionais (os quais foram citados no parágrafo anterior) possuem benefícios como baixo custo e fácil acesso aos equipamentos, baixa exigência técnica no uso dos equipamentos e processos, portabilidade e facilidade de transporte das ferramentas, contudo demonstram limitações como imprecisão dos dados, dificuldades com fechamento de polígonos e também problemas, como necessidade de fazer mais visitas in loco, decorrente de primeiro levantamento inadequado.

A oitava questão buscava entender se o guia proposto poderia ajudar nas atividades dos respondentes. Das 17 pessoas, 16 responderam, sendo que destes, 75% falaram que “Sim” e 25% falaram que “Não”.

A última pergunta, a nona, era uma questão aberta que procurava saber a opinião do respondente, a fim de entender se o guia proposto poderia ajudar estudantes e

profissionais da AECO e como. Dos 17 respondentes, 100% indicou positivamente (que o guia ajudaria o grupo da AECO), contudo alguns apresentaram debates, limitações e ressalvas, dentre os quais se destacam: (1) o nível de detalhamento do guia, que é sumarizado e tem caráter introdutório, sem haver um grau de aprofundamento nas informações expostas, necessitando que o estudante ou profissional pesquise mais sobre o tema posteriormente, caso necessite; e (2) questionamento sobre a necessidade de aplicar técnicas que forneçam informações demais, no contexto de intervenções pontuais e projetos rápidos.

### **3.3 Guia prático e resumido para captura de dados da realidade existente para projetos de reformas**

Foi desenvolvido um guia prático e sumarizado, constante no APÊNDICE C.

Este guia tem o objetivo de ser um referencial sumarizado para consulta, abordando o tema da captura de dados do edifício existente. O guia se destina aos profissionais e estudantes da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) que atuam ou pretendem atuar com projetos de reabilitação de edifícios.

Em resumo, as técnicas abordadas neste guia contemplam: (1) captura de dados dimensionais e geométricos com diversos equipamentos (câmera DSLR, câmera 360°, câmera em VANT e escâner a *laser*), (2) processamento de dados para nuvem de pontos; e (3) modelagem BIM simplificada.

O guia é dividido nos seguintes capítulos:

- O **Capítulo 1 Prefácio** explica o objetivo, o público-alvo e o contexto em que o Guia foi desenvolvido, além de apresentar sucintamente os conteúdos dos próximos capítulos.
- O **Capítulo 2 Introdução** abarca um resumo teórico sobre as técnicas de captura de informações em campo e os processos de transformação dos dados em nuvem de pontos, para posterior modelagem BIM.
- O **Capítulo 3 Ferramentas** e técnicas de captura de dados tem o foco na descrição dos equipamentos, bem como nos procedimentos e boas práticas para aplicação das técnicas de captura de informações em campo.



- O **Capítulo 4 Técnicas de processamento de dados** aborda etapas executadas em programas computacionais que auxiliam na transformação dos dados obtidos em campo em nuvens de pontos.
- O **Capítulo 5 Modelagem BIM** explica simplificada e sobre uma metodologia de construção de modelos, com foco na representação dimensional e geométrica dos elementos construtivos vistos em campo.
- O **Capítulo 6 Plano de execução** sugere diretrizes básicas de implementação das técnicas citadas.



#### 4. CONCLUSÕES

Reabilitações em edifícios existentes exigem atividades de obtenção de dados que podem servir de base para projetos de reformas. Nos casos em que projetos *as built* atualizados não estão disponíveis à equipe de projetos, torna-se necessário capturar informações que auxiliem o desenvolvimento projetual e mitiguem riscos gerados pela falta de dados. No contexto do BIM e de técnicas avançadas de captura de dados em campo, como o escaneamento laser e a fotogrametria, a pesquisa teve por objetivo final a criação de um guia prático e sumarizado sobre estas técnicas, explorando seus benefícios e limitações.

Com este objetivo, a pesquisa adotou a metodologia DSR, passando pelas seguintes etapas: revisão da literatura, identificação do problema, entrevistas com profissionais, testes de campo e experimentos computacionais, proposição do artefato (o guia), avaliação do artefato e, ao final, a elaboração de considerações finais.

Sobre a revisão bibliográfica, foi possível estudar os seguintes temas: (1) gestão de projetos, através de uma análise macro e sucinta; (2) reabilitações e reformas, seus tipos, motivos e conceitos; (3) BIM, suas conceituações e seus processos direcionados ao tema das reabilitações; (4) dados e análises sobre o edifício existente, explorando sobretudo os equipamentos e procedimentos computacionais avançados, como o escaneamento laser, a fotogrametria e o processamento de nuvem de pontos.

A revisão bibliográfica e o conjunto de entrevistas iniciais auxiliaram na identificação do problema da pesquisa – a ocorrência habitual de deficiências no processo de projeto de reabilitação, sobretudo na etapa de captura de dados, e o desconhecimento conceitual e prático de estudantes e profissionais do mercado da AECO quanto às técnicas avançadas supracitadas.

Em seguida, foi possível executar testes de captura de dados em campo através de equipamentos diversos – tais como escâner a laser e câmeras fotográficas –, e experimentos computacionais de processamento de dados, com o objetivo de usar nuvem de pontos e modelar objetos (móveis) e parte de edifícios existentes (superfícies, elementos, componentes, espaços, entre outros). Estas experiências tiveram êxitos e entraves diversos, conforme descrito na pesquisa.

Pode-se afirmar que uma das contribuições de maior relevância foi o APÊNDICE A com a descrição detalhada dos testes, experimentos e averiguação de parâmetros diversos; destaca-se também o resumo e análise crítica destes estudos de caso, observados na seção 3.1.

Contudo, na seção 3.1., também é exposto um conjunto de limitações referentes aos testes executados. Na mesma seção, foi feita uma indicação de estudos adicionais para futuras pesquisas e experimentações.

Ademais, como destaque positivo desta dissertação, foi possível elaborar um guia prático e sumarizado, direcionado a estudantes e profissionais da AECO – o APÊNDICE C –, com base na revisão de literatura, nas entrevistas e nos estudos de caso (testes de campo e nos processamentos computacionais). Este guia foi estruturado de forma simples, com linguagem acessível, e baseado em exemplos reais e imagens ilustrativas, bem como em explicações, orientações e limitações das técnicas de captura e processamento de dados relativos aos escaneamentos laser e à fotogrametria DSM.

É importante mencionar que o guia elaborado, o APÊNDICE C, foi avaliado e melhorado a partir de questionários finais da pesquisa com pessoas do setor da AECO (APÊNDICE B). Tais consultas validaram a relevância do seu conteúdo, mas também indicaram suas limitações, conforme descrito na seção 3.2.2.

Ainda, como ressalva à esta pesquisa, pode-se mencionar que os equipamentos e técnicas exploradas estão em frequente melhoria e progresso no meio acadêmico e profissional, por isso, entende-se que é uma limitação da pesquisa o seu caráter temporário, havendo oportunidade, portanto, para estudo futuro, constante e evolutivo.

## REFERÊNCIAS

AGISOFT. **Online Store**. Disponível em: <https://www.agisoft.com/buy/online-store/>. Acesso em: 22 jan. 2023.

AGOPYAN, V; JOHN, V. M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. São Paulo: Blucher, 2011.

ALHAIDARY, H.; AL-TAMIMI, A.; AL-WAKIL, H. The combined use of BIM, IR thermography and HFS for energy modelling of existing buildings and minimizing heat gain through the building envelope: a case-study from a UAE building. **Advances in Building Energy Research, 2019**.

APPLETON, J. **Reabilitação de edifícios antigos**: patologias e tecnologias de intervenção. Amadora: Edições Orion, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674: Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção**. Rio de Janeiro, p. 25. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos Gerais**. Rio de Janeiro, p. 71. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16280: Reforma em edificações – Sistema de gestão de reformas – Requisitos**. Rio de Janeiro, p. 11. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16636: Elaboração e desenvolvimento de serviços técnicos especializados de projetos arquitetônicos e urbanísticos – Parte 1: Diretrizes e terminologia**. Rio de Janeiro, p. 19. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 19650: ORGANIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO ACERCA DE TRABALHOS DA CONSTRUÇÃO - GESTÃO DA INFORMAÇÃO USANDO A MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO – Parte 1: Conceitos e princípios**. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIATED GENERAL CONTRACTORS OF AMERICA. **Level of Development (LOD) Specification Part I & Commentary**. Disponível em: <https://bimforum.org/lod/>.

Acesso em: 26 mar. 2020.

ATLANTIC LASER SCANNING. **FARO Sphere Targets**. Disponível em: <https://atlanticlaserscanning.com/atlanticlaserscan/faro-sphere-targets-for-sale-1000-with-carry-case>. Acesso em: 11 set. 2022.

AUTODESK. **Buy Recap Pro**. Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/recap/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>.

Acesso em: 22 jan 2023.

AUTODESK. **Buy Revit**. Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>.

Acesso em: 22 jan. 2023.

BAKER, V. Nick. **The Handbook of Sustainable Refurbishment - Non-Domestic Buildings**. Londres: Earthscan / RIBA Publishing, 2009.

BARAZZETTI, L.; PREVITALI, M.; RONCORONI, F. 3D Modelling with the Samsung Gear 360. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Volume XLII-2/W3, 2017, 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, 1–3 March 2017, Nafplio, Greece, p. 85-90.

BARAZZETTI, L.; PREVITALI, M.; RONCORONI, F. Can we use low-cost 360 degree cameras to create accurate 3D models? **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Volume XLII-2, 2018 ISPRS TC II Mid-term Symposium “Towards Photogrammetry 2020”, 4–7 June 2018, Riva del Garda, Italy, p. 69-75.

BARRACA, N.; ALMEIDA, M.; VARUM H, ALMEIDA, F.; MATIAS, MS. A case study of the use of GPR for rehabilitation of a classified Art Deco building: the InovaDomus house. **J Appl Geoph Journal of Applied Geophysics** 2016, 127:1–13.

BENTLEY. **Digital Twins - iTwin™**. Disponível em: <https://www.bentley.com/pt/products/product-line/digital-twins/itwin>. Acesso em: 16 ago. 2020.

BRASIL. **Decreto nº 9.983, de 22 de Agosto de 2019**. Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling e institui o Comitê Gestor da Estratégia do Building Information Modelling. Presidência da República, 2019. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2019-2022/2019/decreto/D9983.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2019-2022/2019/decreto/D9983.htm). Acesso em: 14 jun. de 2020.

BRASIL. **Decreto nº 10.306, de 2 de Abril de 2020**. Estabelece a utilização do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling - Estratégia BIM BR, instituída pelo Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019. Presidência da República, 2020. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2019-2022/2020/decreto/D10306.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2019-2022/2020/decreto/D10306.htm). Acesso em: 16 set. 2020.

BIM4K. **Precisión milimétrica en la captura del entorno**. Disponível em: <https://bim4k.com/escaner-3d/>. Acesso em: 29 mar 2020.

BIM Excellence Initiative. **Model Uses Table**. Disponível em: <https://bimexcellence.org/files/211in-Model-Uses-Table.pdf>. Acesso em: 6 mar. 2023.

BIM Excellence Initiative. **Matriz de Maturidade BIM**. Disponível em <https://bimexcellence.org/wp-content/uploads/301in.PT-Matriz-de-Maturidade-BIM.pdf>. Acesso em: 26 mar 2020.

BIM in NZ - BIM Acceleration Committee. **New Zeland BIM Handbook – A Guide to Enabling BIM on Build Assets 2019 Third Edition**. Disponível em: <https://www.biminnz.co.nz/nz-bim-handbook>. Acesso em: 03 fev. 2020.

BIM in NZ - BIM Acceleration Committee. **Appendix D – Building Uses Definitions**. Disponível em: <https://www.biminnz.co.nz/nz-bim-handbook>. Acesso em: 03 fev. 2020.

BIM in NZ - BIM Acceleration Committee. **Appendix H – Project BIM Execution Plan - Example**. Disponível em: <https://www.biminnz.co.nz/nz-bim-handbook>. Acesso em: 03 fev. 2020.

BUILDINGPOINT. **Trimble DPI-8**. Disponível em: <https://www.buildingpointpartners.com/product/dpi8-handheld-3d-scanner/>. Acesso em: 06 jun. 2021.

C2AE Architecture / Engineering. **Six Ways to Cheat the Architectural Cost Curve**, 2017. Disponível em: <https://www.c2ae.com/blog/6-ways-to-cheat-the-architectural-cost-curve>. Acesso em: 24 mar. 2020.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575**. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

CANON. **Câmera EOS Rebel T100 com Lente EF-S 18-55mm f/3.5-5.6 III**. Disponível em: <https://www.canon.com.br/produtos/produtos-para-voce---cameras---linha-eos---dslr/eos-rebel-t100>. Acesso em: 07 set. 2020.

CANON. **Canon EF 28mm f/1.8 USM**. Disponível em: <https://www.canon.pt/lenses/ef-28mm-f-1-8-usm-lens/#specification>. Acesso em: 06 jun. 2021.

CARVALHO, M.; RABECHINI JR., R. **Fundamentos em gestão de projetos: construindo competências para gerenciar projetos**. São Paulo: Atlas, 2011.

COMPUTER INTEGRATED CONSTRUCTION RESEARCH PROGRAM. **BIM Planning Guide for Facility Owners**. USA: The Pennsylvania State University, 2013. Disponível em: <http://bim.psu.edu>. Acesso em: 26 mar. 2020.

CONNECTA. **Medição em obras**. Disponível em: <http://conecta.fg.com.br/trenas-a-laser/>. Acesso em: 19 abr. 2020.

CROITOR, E., MELHADO, S. A gestão de projetos aplicada à reabilitação de edifícios: estudo da interface entre projeto e obra. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**, São Paulo, BT/PCC/529, 26p, 2009.

CROITOR, E. **A gestão de projetos aplicada à reabilitação de edifícios: estudo da interface entre projeto e obra**. 176 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.



CUPIX. **Quickly capture jobsites in 3D with a 360 camera**. Disponível em: <https://www.cupix.com/works/features.html>. Acesso em: 20 ago. 2020.

D'ANGELO, L., HAJDUKIEWICZ, M., SERI, F., KEANE, M. M. A novel BIM-based process workflow for building retrofit. **Journal of Building Engineering**, Volume 50 (2022) 104163.

DEZEN-KEMPTER, E.; SOIBELMAN, L.; CHEN, M.; MULLER FILHO, A. Escaneamento 3D a laser, fotogrametria e modelagem da informação da construção para gestão e operação de edificações históricas. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, 10 (2), 113-124. <https://doi.org/10.11606/gtp.v10i2.102710>

DJI. **DJI Mavic Pro**. Disponível em: <https://www.dji.com/br/mavic>. Acesso em: 13 set. 2020.

DOUGLAS, JAMES. **Building adaptation**. Edimburgo: Elsevier, 2006.

DORAN, D.; DOUGLAS, J.; PRATLEY, R. **Refurbishment and repair in construction**. Dunbeath: Whittles Publishing, 2009.

DRESCH, A., LACERDA, D. P., ANTUNES JUNIOR, J. A. V. **Design Science Research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Ed. Bookman, 2015.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R. LISTON, K. **Manual de BIM: Um guia de modelagem a informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. (tradução: Cervantes Gonçalves Ayres Filho *et al.*; revisão técnica: Eduardo Toledo Santos). Porto Alegre: Bookman, 2014.

EBRAHIM, M. **3D laser scanners: history, applications, and future**. Assiut University: Egipt, 2011.

FANGI, G.; NARDINOCCHI, C. Photogrammetric Processing of Spherical Panoramas. **Remote Sensing and Photogrammetry Society, The Photogrammetric Record**, 28 (143): 293-311 (September 2013).

FARO. **Discover Autonomous 3D Laser Scanning with Trek**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=KAIDxRCuoVI>. Acesso em: 11 jun. 2023.

FARO. **Faro Focus Laser Scanners**. Disponível em: <https://www.faro.com/pt-BR/Products/Hardware/Focus-Laser-Scanners>. Acesso em: 14 set. 2020.

FARO. **Focus Swift**. Disponível em: <https://www.faro.com/en/Resource-Library/Tech-Sheet/techsheet-faro-focus-swift>. Acesso em: 06 jun. 2021.

FARO. **New Faro Swift mobile indoor 3d scanner aims to become industry standard in mapping speed accuracy**. Disponível em: <https://www.faro.com/en/Resource-Library/Video/new-faro-swift-mobile-indoor-3d-scanner-aims-to-become-industry-standard-in-mapping-speed-accuracy>. Acesso em: 06 jun. 2021.

FARO. **PointSense for Revit**. YouTube. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=GwMHDD8Nnho>. Acesso em: 14 jan. 2023.

FARO. **Technical Specification Sheet for Focus Laser Scanner**. Disponível em: [https://knowledge.faro.com/Hardware/3D\\_Scanners/Focus/Technical\\_Specification\\_Sheet\\_for\\_the\\_Focus\\_Laser\\_Scanner](https://knowledge.faro.com/Hardware/3D_Scanners/Focus/Technical_Specification_Sheet_for_the_Focus_Laser_Scanner). Acesso em: 07 ago. 2022.

FAUUSP. **Avaliação Pós-ocupação (APO) do Ambiente Construído**. Disponível em: <http://www.fau.usp.br/disciplinas-pos-graduacao/avaliacao-pos-ocupacao-apo-do-ambiente-construido/>. Acesso em: 12 abr. 2020.

GIEBELER, G.; KRAUSE, H.; FISCH, R.; MUSSO, F.; LENZ, B.; RUDOLPHI, A. **Refurbishment manual: maintenance, conversions, extensions**. Basel/Boston/Munich: Edition Detail, 2009.

GOMIDE, T.; FAGUNDES NETO, J.; GULLO, M. **Engenharia Diagnóstica em Edificações**. São Paulo: PINI, 2015.

GOOGLE. **Google Maps**. Disponível em: <https://www.google.com/maps/>. Acesso em: 07 set. 2020.

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

GROETELAARS, N. J., AMORIM, A. L. **Tecnologia 3D Laser Scanning: características, processos e ferramentas para manipulação de nuvem de pontos**. *In:*

CONGRESSO SIGRADI, XV, 2011, Santa Fé, Argentina. **Anais**, Santa Fé: Sigradi, 2011. p. 1 - 5.

GROETELAARS, N. J., AMORIM, A. L. Dense Stereo Matching (DSM): conceitos, processos e ferramentas para criação de nuvem de pontos por fotografias. *In*: CONGRESSO SIGRADI, XVI, 2012, Fortaleza, Brasil. **Anais**, Fortaleza: Sigradi, 2012. p. 361 - 365.

IATEC PLANT SOLUTIONS. **Laser Scanner 3D digitalizador de mão DOTPRODUCT DPI-8**. Disponível em: <https://www.iatecps.com/product-page/laser-scanner-3d-digitalizador-de-m%C3%A3o-dotproduct-dpi-8>. Acesso em: 25 set. 2022.

INFRATEC. **Thermographic Building Inspections**. Disponível em: <https://www.infratec.eu/thermography/industries-applications/building-thermography/>. Acesso em: 20 ago. 2020.

INSTA 360. **Insta 360 One X**. Disponível em: <https://www.insta360.com/es/product/insta360-onex/>. Acesso em: 13 set. 2020.

KANLI, A.; TALLER, G.; NAGY, P.; TILDY, P.; PRONAY, Z.; TOROS, E. GPR survey for reinforcement of historical heritage construction at fire tower of Sopron. **Journal of Applied Geophysics** 2015; 112:79–90.

KLEIN, L.; LI, N.; BECERIK-GERBER, B. Imaged-based verification of as-built documentation of operational buildings. **Automation in Construction**, v. 21, p. 161-171, 2012.

KAVANAGH, BARRY F. **Surveying: principles and applications**. New Jersey: Prentice Hall, 2003.

LAGÜELA, S.; DÍAZ-VILARINO, L.; MARTÍNEZ, J.; ARMESTO, J. Automatic thermographic and RGB texture of as built BIM for energy rehabilitation purposes. **Automation in Construction**, v. 31, p. 230-240, 2013.

LAI, W.; DEROBERT, X.; ANNAN, P. A review of Ground Penetrating Radar application in civil engineering: A 30-year journey from Locating and Testing to Imaging and Diagnosis. **NDT & E International**, Volume 96, June 2018, Pages 58-78.

LEICA. **Scanner de imagens a laser Leica BLK360**. Disponível em: <https://leica-geosystems.com/pt-br/products/laser-scanners/scanners/blk360>. Acesso em: 14 set. 2020.

LEICA. **BLK2Go Overview**. Disponível em: <https://shop.leica-geosystems.com/blk2go-overview>. Acesso em: 06 jun. 2021.

LEICA. **Leica BLK360 Imaging scanner**. Disponível em: [https://shop.leica-geosystems.com/sites/default/files/2019-04/blk360\\_spec\\_sheet\\_2\\_0.pdf](https://shop.leica-geosystems.com/sites/default/files/2019-04/blk360_spec_sheet_2_0.pdf). Acesso em: 07 ago. 2022.

LG. **LG 360 CAM**. Disponível em: <https://www.lg.com/us/mobile-accessories/lg-LGR105AVRZTS-360-cam>. Acesso em: 06 jun. 2021.

LIANG, X., G. Q. SHEN, and L. GUO. Improving Management of Green Retrofits From a Stakeholder Perspective: A Case Study in China. **International Journal of Environmental Research and Public Health** , 2015, 12 (11): 13823–13842.

LOPES, S. **Métodos Ágeis para Arquitetos e Profissionais Criativos – Como planejar e monitorar seu projeto aumentando a produtividade**. Rio de Janeiro: Brasport, 2015.

LEUSIN, S. **Gerenciamento e coordenação de Projetos BIM: um guia de ferramentas e boas práticas para o sucesso de empreendimentos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

LIMA JUNIOR, J. R.; ALENCAR, C. T.; MONETTI, E. **Real estate: fundamentos para análise de investimentos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

MANZIONE, L.; MELHADO, S.; NÓBREGA JR., C. **BIM e Inovação em Gestão de Projetos: de acordo com a norma ISO 19650**. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

MARQUES DE JESUS, C. R. **Análise de Custos para Reabilitação de Edifícios para Habitação**. 128 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MATTERPORT. **How 3D scan to BIM can reduce design and construction costs**. Disponível em: <https://matterport.com/industries/architects-engineering-construction>. Acesso em: 20 ago. 2020.

MATTERPORT. **Matterport Price List.** Disponível em: [https://support.matterport.com/s/article/Matterport-Price-List?language=en\\_US](https://support.matterport.com/s/article/Matterport-Price-List?language=en_US).

Acesso em: 13 set. 2020.

MENDES, R., GARCIA, M., CACCIATORI, M., FÉLIX, P., MIRANDA, R., MORAIS, R. **Avaliação Pós-Ocupação – Museu do Futebol – Relatório Volumes 1 e 2.** Trabalho desenvolvido para a disciplina AUT 5805 na FAUUSP, 2018. Trabalho não publicado.

MILES, M. E; BERENS, G.; EPPLI, M. J.; WEISS, M. A. **Real estate development: principles and process.** Washington, D.C: Urban Land Institute, 2007.

MORETTINI, R. **Tecnologias construtivas para a reabilitação de edifícios: tomada de decisão para uma reabilitação sustentável.** Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

MULCAHY, R. **PMP Exam Prep – Eighth Edition.** RMC: USA, 2013.

NASA. **Space Launch System Solid Rocket Boosters ‘on Target’ for First Flight.** Disponível em: <https://www.nasa.gov/exploration/systems/sls/space-launch-system-solid-rocket-boosters-on-target-for-first-flight.html>. Acesso em: 11 set. 2022.

OKAKPU, A., TOOKEY, J., GHAFARIANHOSENI, A., HAAR, J. A proposed framework to investigate effective BIM adoption for refurbishment of building projects. **Architectural Science Review**, 1-13, 2018.

ORNSTEIN, S. Avaliação Pós-Ocupação (APO) no Brasil, 30 anos: O que há de novo? **Revista Projetar – Projeto e Percepção do Ambiente**, v.2 n.2, Natal – RN, 7-12, 2017.

PEDRO, J.; VILHENA, A.; PAIVA, J. Avaliação do estado de conservação de edifícios: Desenvolvimentos recentes e linhas de investigação futura. **Relatório 42/2013 – DED/NAU do Laboratório Nacional de Engenharia Civil**, Lisboa, Portugal, 2013, p. 361-365.

PINI, M. S. **Manutenção predial.** São Paulo: Pini, 2011.

PINIOTIS, G.; SOILE, S.; BOUREXIS, F.; TSAKIRI, M.; IOANNIDIS, C. Experimental Assessment of 3D Narrow Space Mapping Technologies. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLIII-B2-2020, 2020 XXIV ISPRS Congress (2020 edition)**, p.149-156.

PIX4D. **Ground control points: why are they important?** Disponível em: <https://www.pix4d.com/blog/why-ground-control-points-important>. Acesso em: 11 set. 2022.

RANGEL, C. **Catálogo de materiais e anomalias típicas de edifícios antigos de alvenaria de pedra e madeira com recurso a BIM.** Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2019.

RIEGL. **RICOPTER.** Disponível em: <http://www.riegl.com/products/unmanned-scanning/ricopter/>. Acesso em: 06 jun. 2021.

ROMERO-JARÉN, R.; ARRANZ, J.J. Automatic segmentation and classification of BIM elements from point clouds. **Automation in Construction**, v. 124, 2021.

RUMBELOW, Matt. **Trimble DPI 8 Handheld 3D Scanner.** YouTube. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=cwfjMyhEc98>. Acesso em: 25 set. 2022.

SANTOS, K. **Gestão da manutenção de edifícios com o BIM. Enfoque nas manifestações patológicas de elementos de construção.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, 2017.

SCHERER, R. J., KATRANUSCHKOV, P. BIMification: How to create and use BIM for retrofitting. **Advanced Engineering Informatics**, 38, p.54-66, 2018.

SOLDAN, S.; BONOW, G.; KROLL, A. Robo Gas Inspector – A Mobile Robotic System for Remote Leak Sensing and Localization in Large Industrial Environments: Overview and First Results. **Proceedings of the 2012 IFAC Workshop on Automatic Control in Offshore Oil and Gas Production.**

TANG, P.; HUBER, D.; AKINCI, B.; LIPMAN, R.; LYTLE, A. Automatic reconstruction of as built information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. **Automation in Construction**, v. 19, p. 829-843, 2010.

TECHTUDO. **Google Trekker: 1º lugar registrado, chão falso e curiosidades no Maps.** Disponível em: <https://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2015/07/google-trekker-1-lugar-registrado-cao-falso-e-curiosidades-no-maps.html>. Acesso em: 06 jun. 2021.

T EQUIPMENT. **Flir T460 Industrial Thermal Camera.** Disponível em: <https://www.tequipment.net/FLIRT420.html#description>. Acesso em: 15 out. 2022.

TINOCO, J. **Mapa de Danos – Recomendações básicas**. Olinda: Centro de Estudos Avançados da Conservação Integrada, 2009.

TRIMBLE. **Datasheet – Trimble TX8 Laser Scanner**. Disponível em: <https://geospatial.trimble.com/sites/geospatial.trimble.com/files/2019-03/Datasheet%20-%20Trimble%20TX8%20Laser%20Scanner%20-%20Portuguese-Euro%20-%20Screen.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2022.

TRIMBLE. **Mobile Mapping Solutions**. Disponível em: <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/mobile-mapping-solutions>. Acesso em: 06 jun. 2021.

TRIMBLE. **Trimble TX6**. Disponível em: <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-tx6>. Acesso em: 06 jun. 2021.

UOTILA, U., JUNNONEN, J., SAARI, A. Laser Scanning Tasks of Building Refurbishment Project. **Proceedings of 17th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering**, Tampere, Finland: 2018, 8p.

VARGAS, H. C.; ARAUJO, C. P. **Arquitetura e mercado imobiliário**. Barueri: Manole, 2014.

VERZUH, E. **MBA Compacto – Gestão de Projetos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2000.

VOLK, R., STENGEL, J., SCHULTMANN, F. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings – Literature review and future needs. **Automation in Construction**, v. 38, p. 109-127, 2013.

WANG, C.; CHO, Y. K.; KIM, C. Automatic BIM component extraction from point clouds of existing buildings for sustainability applications. **Automation in Construction**, v. 56, p. 1-13, 2015.





## APÊNDICE A – Testes e experimentos da pesquisa

Neste apêndice são apresentados os testes e experimentos de forma detalhada.

Foram feitos testes de campo para captura de dados (sobretudo da geometria, cor e dos aspectos dos materiais construtivos) e testes de uso de programas que processam dados capturados através da fotogrametria ou da manipulação de dados de nuvem de pontos.

Cada teste será ilustrado a seguir, conforme tecnologia e processo aplicado.

O processamento com programas citados a seguir foi feito com Laptop Lenovo Ideapad 330S, com placa de vídeo AMD Radeon 540 de 2 GB, memória RAM de 12 GB, processador AMD Ryzen 7 2700U, com o custo aproximado de R\$ 3.500,00 (em 2018).

### A. Fotogrametria terrestre com Câmera DSLR

Sobre a ferramenta, os testes foram realizados com uma câmera digital semiprofissional DSLR da Canon, modelo Rebel T100 com lente de distância focal normal entre 18 e 55 milímetros (EF-S 18-55 mm), diafragma f/3.5-5.6, possuindo foco manual e automático e 18 megapixels de resolução máxima, conforme mostrada na Figura 28. Esta câmera custa cerca de R\$ 1.800,00 (em 2020).

Figura 28 – Fotogrametria terrestre – Câmera Canon EOS Rebel T100 com Lente EF-S 18-55mm f/3.5-5.6 III



Fonte: Ver nota<sup>17</sup>. Canon.

Foi utilizado também tripé para melhor estabilização da tomada das fotos em campo, com o custo de aproximadamente R\$ 150,00 (em 2020).

Na grande parte dos casos, foram implementadas combinações das seguintes boas práticas de captura de fotos para fotogrametria:

- a) Fotos tiradas de dia, com luz natural, em dia pouco nublado ou sem nuvens, e sem flash, uma vez que o flash criaria sombras e informações fotográficas diferentes em fotos tomadas de outros ângulos.
- b) Fotos tiradas com tripé, para melhor estabilização, evitando fotos “borradas” (em movimento).
- c) Fotos tiradas com sobreposição de informações entre si (cerca de 60% ou mais de sobreposição), para que o processo de fotogrametria tenha referências e similaridades entre fotos (pontos homólogos).
- d) Uso de marcadores nas cenas capturadas, por exemplo, papéis impressos com formas geométricas, de maneira que estes marcadores sirvam de referência para identificação de pontos homólogos. Ver Figura 122.
- e) Proveito das condições favoráveis das superfícies que são objetos da captura, apresentando irregularidades, diferentes cores ou contrastes de materiais, possibilitando a identificação de pontos homólogos entre diversas capturas (fotografias) executadas.
- f) Nas capturas de dados de áreas e superfícies retas (planos), tais como paredes e fachadas, caso o objetivo fosse produzir modelo ou ortofotos, foram tiradas fotos paralelas entre si, com ângulo perpendicular à superfície de captura.
- g) Objeto registrado em fotogrametria com ângulo de visão sem obstáculos físicos que impedissem captura de fotos, de forma a evitar omissões, ou seja, foto desimpedida de barreiras que limitem a visão para o objeto a ser modelado.

---

<sup>17</sup> Canon - Disponível em: [https://www.loja.canon.com.br/pt/canonbr/camera-eos-rebel-t100-com-lente-ef-s-18-55mm-f-3-5-5-6-iii-reembalada-ec?gclid=CjwKCAjwNf6BRAwEiwAkt6UQjosg4l4G8qPhhHrcWsRMPZ07AlaJGeQHMoYOwACVXuSRDrFscckihoCi3sQAvD\\_BwE](https://www.loja.canon.com.br/pt/canonbr/camera-eos-rebel-t100-com-lente-ef-s-18-55mm-f-3-5-5-6-iii-reembalada-ec?gclid=CjwKCAjwNf6BRAwEiwAkt6UQjosg4l4G8qPhhHrcWsRMPZ07AlaJGeQHMoYOwACVXuSRDrFscckihoCi3sQAvD_BwE). Acesso em 07 de setembro de 2020.

Em casos em que boas práticas não foram adotadas ou que os cenários eram desfavoráveis, a captura de dados pode ter ficado comprometida, conforme ilustrado nos casos.

No Quadro 11 são ilustrados os casos de testes em campo desenvolvidos para esta pesquisa. Foram realizados 13 testes com capturas de fotos com câmera digital, para posterior uso de técnicas de fotogrametria.

Quadro 11 – Fotogrametria terrestre – resumo dos testes de acordo com os ambientes, objetos e tipo de câmera utilizada, com numeração dos testes (estudos de caso).

Nº do caso	AMBIENTE	OBJETO	CÂMERA DIGITAL
1	7. SOROCABA - Casa - ambiente externo	Parede	Sim - DSLR (CANON REBEL T100)
2	7. SOROCABA - Casa - ambiente externo	Paredes, pisos, teto, viga	Sim - DSLR (CANON REBEL T100)
3	7. SOROCABA - Casa - ambiente interno	Parede	Sim - DSLR (CANON REBEL T100)
4	3. SP - Prédio - ambiente interno	Estante	Sim - DSLR (CANON REBEL T100)
5	3. SP - Prédio - ambiente externo	Parede	Sim - DSLR (CANON REBEL T100)
6	3. SP - Prédio - ambiente interno	Canos, teto, viga	Sim - DSLR (CANON REBEL T100)
7	4. FAU - Prédio - ambiente externo	Fachada	Sim - DSLR (CANON REBEL T100)
8	4. FAU - Prédio - ambiente externo	Pilar	Sim - DSLR (CANON REBEL T100)
9	5. IME - Prédio - ambiente externo	Portal	Sim - DSLR (CANON REBEL T100)
10	5. IME - Prédio - ambiente externo	Fachada	Sim - DSLR (CANON REBEL T100)
11	6. EP CIVIL - Prédio - ambiente externo	Fachada	Sim - DSLR (CANON REBEL T100)
12	6. EP CIVIL - Prédio - ambiente externo	Pilar	Sim - DSLR (CANON REBEL T100)
13	6. EP CIVIL - Prédio - ambiente interno	Parede	Sim - DSLR (CANON REBEL T100)

Fonte: a autora.

#### i. Caso 1: Parede externa em casa em Sorocaba

Ver Quadro 12 sobre o caso 1, com dados sobre captura, processamento, modelagens, análise dos resultados.

Quadro 12 – Fotogrametria terrestre - Dados sobre o caso 1 – Parede externa em casa em Sorocaba.

<b>Caso nº 1: Parede externa em casa na cidade de Sorocaba</b>	
Método de captura	Câmera DSLR Canon Rebel T100
Objeto	Parede externa de uma casa
Objetivo da captura	Capturar dados de parte de uma parede de área externa de uma casa, incluindo portas e esquadrias.
Tempo da tomada fotográfica em campo	3 minutos
Quantidade de capturas	14 fotos. Na Figura 30, mostra-se uma amostra das fotos capturadas.
Condição de iluminação	Dia claro, sem nuvens.
Condições de captura (sobreposições)	Houve algumas sobreposições dos dados. Na Figura 30, mostra-se uma amostra das fotos capturadas.
Condições de captura (áreas e planos)	O corredor de onde era possível tirar fotos era muito pequeno e o ângulo de captura frente ao objeto era oblíquo, não sendo possível tirar fotos perpendiculares ao plano da parede. Ver Figura 29.
Condições de estabilidade (tripé)	Não houve uso de tripé.
Uso de marcadores ou referências	Não houve adição de marcadores em campo, apenas uso de referências já existentes na geometria (10 pontos), assinalados no processamento da fotogrametria no Agisoft Metashape. Ver Figura 31.
Condições do objeto (superfícies, irregularidades, contrastes, cores etc)	Superfícies possuem baixo contraste (materiais e cores são praticamente homogêneos), havendo poucas sombras ou texturas.
Tamanho e resolução	2,5 MB por foto, na média; 3456 pixels de largura por 2304 pixels de altura
Abertura do diafragma	f/8 na média
Tempo de exposição	1/200 s na média
ISO	100
Distância focal	18mm

Caso nº 1: Parede externa em casa na cidade de Sorocaba	
Método e/ou Programa de processamento de dados capturados para nuvem de pontos	Fotogrametria DSM no Agisoft Metashape (houve correlação automática de pontos homólogos e também inserção manual de algumas referências, que são chamados de “markers” no programa).
Tempo de processamento para nuvem de pontos	6 minutos no Agisoft Metashape.
Resultados e visualização dos dados processados para nuvem de pontos	Tentou-se gerar resultados com boa representação, contudo não foi possível. De qualquer forma, tentou-se produzir, na ordem de processamento, primeiro a nuvem, depois nuvem densa, malha TIN e por último malha TIN texturizada gerados no Agisoft Metashape. Ver Figura 31.
Avaliação dos resultados do processamento para nuvem de pontos (materialidade e dimensões)	Não houve êxito no processo de transformação das fotos em nuvens e malhas TIN, devido a diversos possíveis fatores. Ver Figura 31.
Limitações e problemas da captura e processamento	Não foi possível gerar nuvens e malhas TIN a partir dos dados capturados in loco. Inferiu-se que este problema pode ter sido causado por: (1) número baixo de fotos capturadas; (2) ângulos de captura não ortogonais à fachada; (3) ângulos de captura não diversificados, devido à dificuldade imposta pelo ambiente; (4) falta de referências (materialidades e contrastes naturais da construção ou também uso de marcadores para melhor captura e processamento de dados); e/ou (5) falta de uso de tripé pode ter gerado imagens de baixa qualidade. Ver Figura 31.
Modelagem BIM com base na nuvem de pontos	Não foi possível fazer modelagem BIM devido aos problemas identificados na etapa de processamento de dados. Ver Figura 31.

### Caso nº 1: Parede externa em casa na cidade de Sorocaba

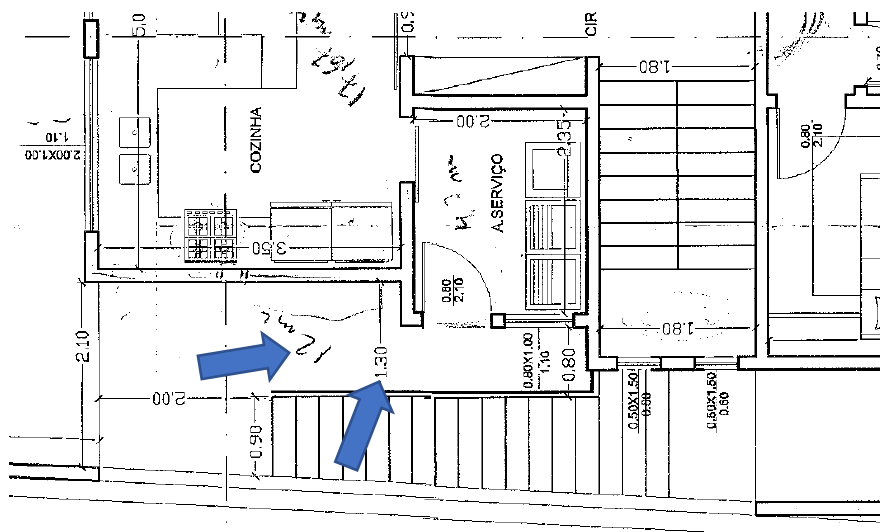
Tempo de modelagem BIM

Não se aplica.

Resultados e limitações da modelagem BIM

Não se aplica.

Figura 29 – Fotogrametria terrestre – Casa em Sorocaba – Parede externa – Local de captura fotográfica.



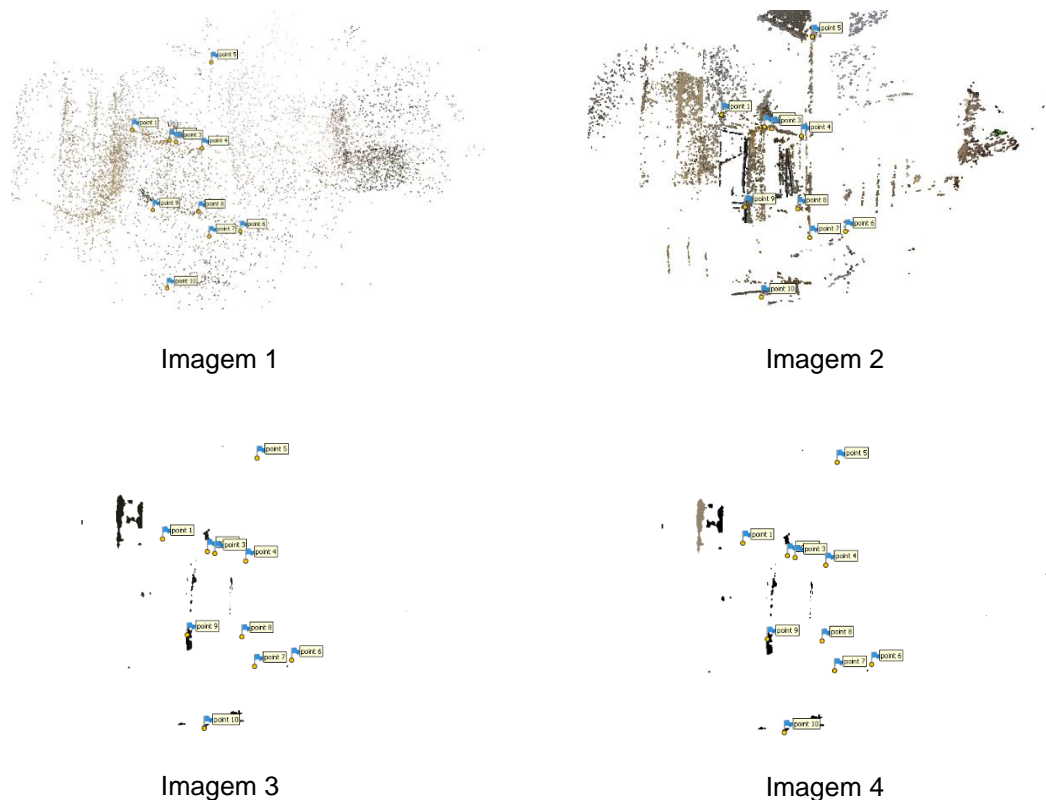
Fonte: planta existente digitalizada, com seta em azul indicando local de captura fotográfica.

Figura 30 – Fotogrametria terrestre – Casa em Sorocaba – Parede externa – Amostra de fotos capturadas em campo.



Fonte: a autora.

Figura 31 – Fotogrametria terrestre – Casa em Sorocaba – Parede externa – Vista oblíqua do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.



Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é a nuvem de pontos. Imagem 2 superior direita é a nuvem de pontos densa. Imagem 3 inferior esquerda é malha TIN. Imagem 4 inferior direita é malha TIN texturizada. Todas as imagens possuem os marcadores de referência usados para o processamento dos dados fotogramétricos no Agisoft Metashape. Apenas na imagem 2 é possível reconhecer alguns elementos da construção, como porta e janela. Nas demais imagens, a construção registrada fica irreconhecível.

## ii. Caso 2: Área externa (paredes) em casa em Sorocaba

Ver Quadro 13 sobre o caso 2, com dados sobre captura, processamento, modelagens, análise dos resultados.

Quadro 13 – Fotogrametria terrestre – Dados sobre o caso 2 – Área externa em casa em Sorocaba.

### Caso nº 2: Área externa (paredes) em casa na cidade de Sorocaba

Método de captura

Câmera DSLR Canon Rebel T100

<b>Caso nº 2: Área externa (paredes) em casa na cidade de Sorocaba</b>	
Objeto	Área externa de uma casa
Objetivo da captura	Capturar dados de parte de uma área externa de uma casa, incluindo paredes, pisos, tetos.
Tempo da tomada fotográfica em campo	8 minutos
Quantidade de capturas	85 fotos. Na Figura 33, mostra-se uma amostra das fotos capturadas.
Condição de iluminação	Dia claro, sem nuvens.
Condições de captura (sobreposições)	Houve algumas sobreposições dos dados. Na Figura 33, mostra-se uma amostra das fotos capturadas.
Condições de captura (áreas e planos)	O corredor de onde era possível tirar fotos da parte traseira era pequeno. Ver Figura 32 e Figura 33.
Condições de estabilidade (tripé)	Não houve uso de tripé.
Uso de marcadores ou referências	Não houve adição de marcadores em campo, apenas uso de referências já existentes na geometria (9 pontos), assinaladas no processamento da fotogrametria no Agisoft Metashape. Ver Figura 34 e Figura 35.
Condições do objeto (superfícies, irregularidades, contrastes, cores etc)	Superfícies possuem baixo contraste (materiais e cores são praticamente homogêneos), havendo poucas sombras ou texturas.
Tamanho e resolução	2,5 MB por foto, na média; 3456 pixels de largura por 2304 pixels de altura
Abertura do diafragma	f/8 na média
Tempo de exposição	1/160 s na média
ISO	100
Distância focal	18mm
Método e/ou Programa de processamento de dados capturados para nuvem de pontos	Fotogrametria DSM no Agisoft Metashape (houve correlação automática de pontos homólogos e também inserção manual de

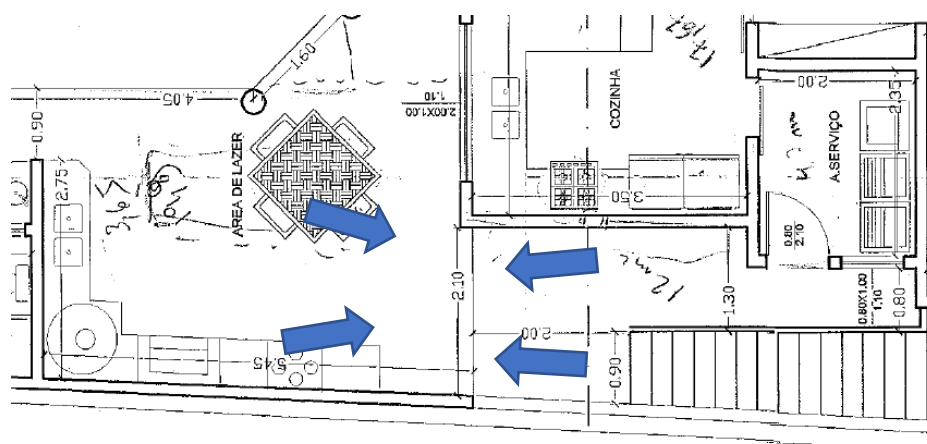


Caso nº 2: Área externa (paredes) em casa na cidade de Sorocaba	
	algumas referências, que são chamados de “markers” no programa).
Tempo de processamento para nuvem de pontos	50 minutos no Agisoft Metashape, para gerar todos os resultados abaixo.
Resultados e visualização dos dados processados para nuvem de pontos	Na ordem de processamento, primeiro nuvem, depois nuvem densa, malha TIN e por último malha TIN texturizada gerados no Agisoft Metashape. Ver Figura 34 e Figura 35.
Avaliação dos resultados do processamento para nuvem de pontos (materialidade e dimensões)	Apesar da nuvem de pontos gerada ter baixa confiabilidade, segundo o Metashape (ver Figura 36), foi possível usar os dados capturados como base para modelagem BIM. A nuvem de pontos, de qualidade mediana, registrou a geometria com alguns desvios dimensionais (no plano do chão XY, desvios de 1 a 3 centímetros, e no plano das paredes, desvios da ordem de 6 centímetros), segundo comparação da nuvem com dimensões feitas in loco com trena <i>laser</i> Bosch GLM 40. A malha TIN texturizada de baixa qualidade não conseguiu registrar a materialidade adequadamente. Ver Figura 34 e Figura 35.
Limitações e problemas da captura e processamento	Possivelmente a nuvem de pontos, de qualidade média, e a malha TIN texturizada, de qualidade baixa, tem problemas associados aos seguintes fatos: as superfícies de parede eram muito homogêneas (sem contraste); não foi usado tripé; e não foram inseridos marcadores em campo.
Modelagem BIM com base na nuvem de pontos	Foi possível fazer um modelo no Autodesk Revit, representando elementos das paredes e piso, com base na nuvem de

### Caso nº 2: Área externa (paredes) em casa na cidade de Sorocaba

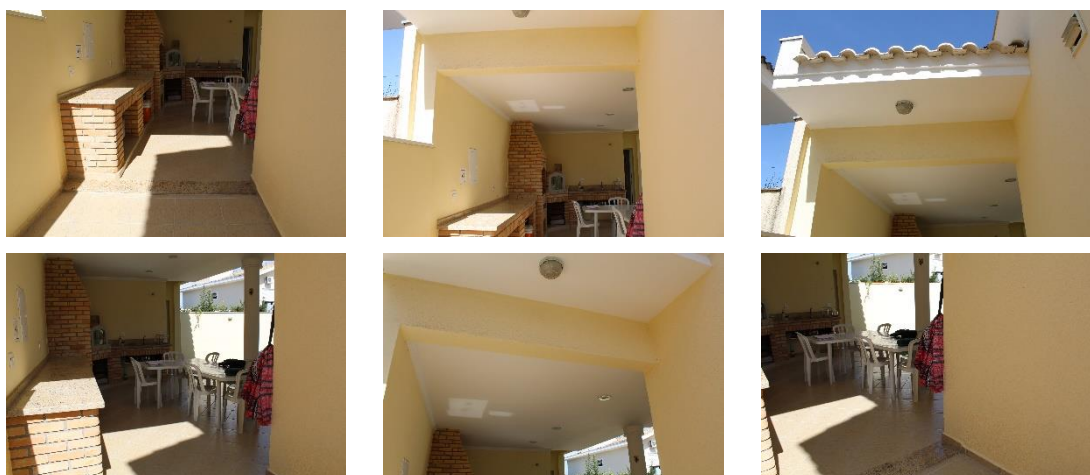
	pontos gerada pelo Agisoft Metashape. Os elementos foram escalados em 1 eixo no Revit. Ver Figura 37.
Tempo de modelagem BIM	15 minutos.
Resultados e limitações da modelagem BIM	Devido aos desvios dimensionais observados da nuvem frente às medidas tiradas em campo, conclui-se que o modelo tem baixa qualidade frente ao objetivo à que se destinaria. Ver Figura 37.

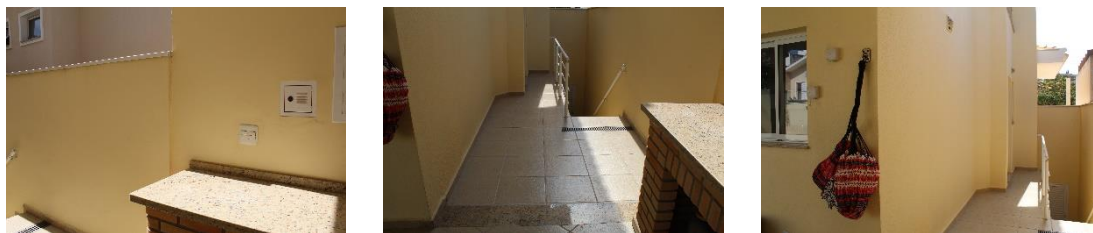
Figura 32 – Fotogrametria terrestre – Casa em Sorocaba – Paredes externas – Local de captura fotográfica.



Fonte: planta existente digitalizada, com setas em azul indicando locais de captura fotográfica.

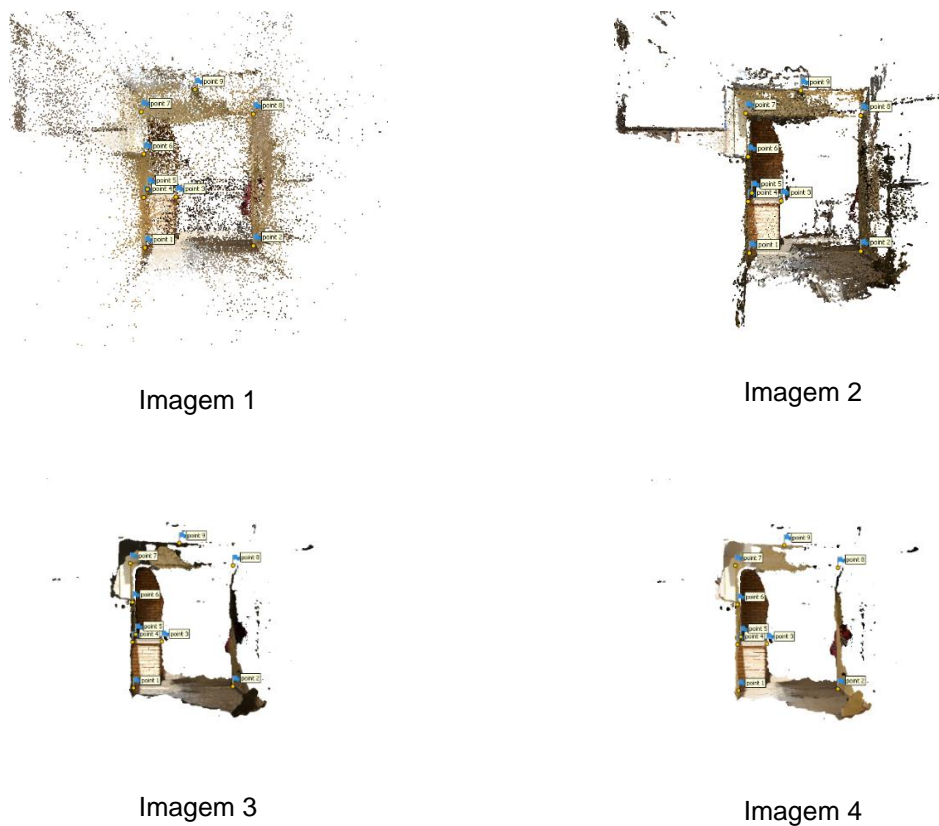
Figura 33 – Fotogrametria terrestre – Casa em Sorocaba – Paredes externas – Amostra de fotos capturadas em campo.





Fonte: a autora.

Figura 34 – Fotogrametria terrestre – Casa em Sorocaba – Paredes externas – Vista frontal do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.



Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é a nuvem de pontos. Imagem 2 superior direita é a nuvem de pontos densa. Imagem 3 inferior esquerda é malha TIN. Imagem 4 inferior direita é malha TIN texturizada. Todas as imagens possuem os marcadores de referência usados para o processamento dos dados fotogramétricos no Agisoft Metashape.

Figura 35 – Fotogrametria terrestre – Casa em Sorocaba – Paredes externas – Vista traseira do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.



Imagem 1



Imagem 2



Imagem 3



Imagem 4

Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é a nuvem de pontos. Imagem 2 superior direita é a nuvem de pontos densa. Imagem 3 inferior esquerda é malha TIN. Imagem 4 inferior direita é malha TIN texturizada. Todas as imagens possuem os marcadores de referência usados para o processamento dos dados fotogramétricos no Agisoft Metashape.

Figura 36 – Fotogrametria terrestre – Casa em Sorocaba – Paredes externas – Vista traseira do modelo de confiabilidade gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.



Fonte: a autora. Pontos em verde possuem maior confiabilidade e pontos em vermelho possuem menor confiabilidade. Analisa-se que o modelo gerou algumas imprecisões nos elementos construtivos principais, tais como pisos, paredes e tetos.

Figura 37 – Fotogrametria terrestre – Casa em Sorocaba – Paredes externas – Modelo BIM da feito no Autodesk Revit, com base na nuvem de pontos gerada na fotogrametria executada no Agisoft Metashape.



Imagem 1



Imagem 2



Imagem 3

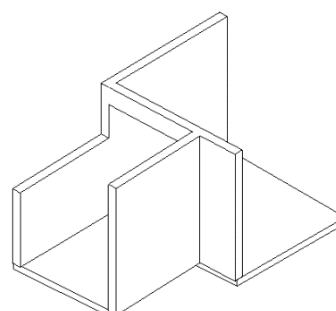


Imagem 4

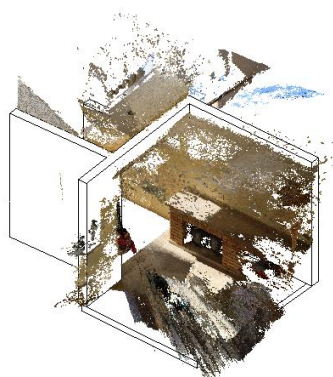


Imagem 5

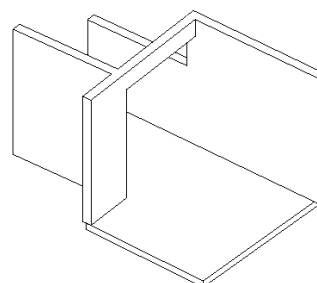


Imagem 6

Fonte: a autora. Imagem 1 superior à esquerda é a vista frontal em nuvem de pontos. Imagem 2 superior direita é a vista frontal com modelo das paredes e pisos, mesclado com a nuvem de pontos. Imagem 3 intermediária à esquerda é a vista frontal superior oblíqua do modelo mesclado com a nuvem de pontos. Imagem 4 intermediária à direita é a vista frontal superior oblíqua, sendo apenas o modelo. Imagem 5 inferior à esquerda é a vista traseira superior oblíqua, sendo o modelo mesclado com a nuvem de pontos. Imagem 6 inferior à direita é a vista traseira superior oblíqua, sendo apenas o modelo.

### iii. Caso 3: Parede interna em casa em Sorocaba



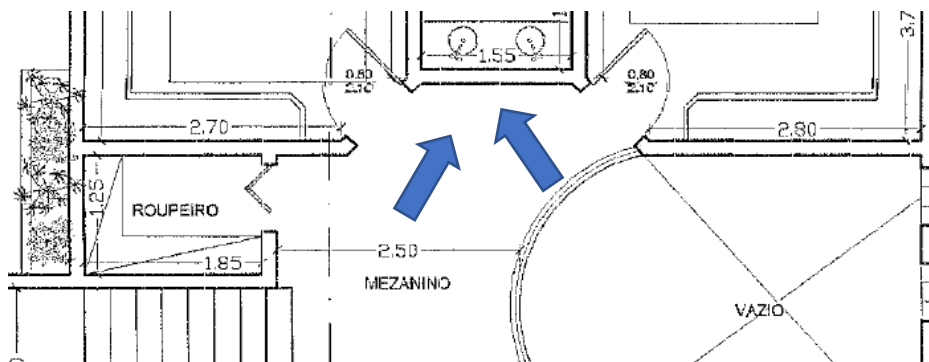
Ver Quadro 14 sobre o caso 3, com dados sobre captura, processamento, modelagens, análise dos resultados.

Quadro 14 – Fotogrametria terrestre - Dados sobre o caso 3 – Parede interna em casa em Sorocaba.

<b>Caso nº 3: Parede interna em casa na cidade de Sorocaba</b>	
Método de captura	Câmera DSLR Canon Rebel T100
Objeto	Parede interna de uma casa.
Objetivo da captura	Capturar dados de uma parede, conforme planta da Figura 38.
Tempo da tomada fotográfica em campo	6 minutos
Quantidade de capturas	59 fotos. Na Figura 39, mostra-se uma amostra das fotos capturadas.
Condição de iluminação	Dia claro, luz difusa proveniente de janelas próximas, em ambiente interno. Sem uso de luz artificial.
Condições de captura (sobreposições)	Houve algumas sobreposições dos dados. Na Figura 39, mostra-se uma amostra das fotos capturadas.
Condições de captura (áreas e planos)	Condições boas de captura no geral.
Condições de estabilidade (tripé)	Não houve uso de tripé.
Uso de marcadores ou referências	Não houve adição de marcadores em campo, apenas uso de referências já existentes na geometria (6 pontos), assinaladas no processamento da fotogrametria no Agisoft Metashape. Ver Figura 40.
Condições do objeto (superfícies, irregularidades, contrastes, cores etc)	Superfícies possuem baixo contraste (materiais e cores são praticamente homogêneos), havendo poucas sombras ou texturas.
Tamanho e resolução	2,0 MB por foto, na média; 3456 pixels de largura por 2304 pixels de altura
Abertura do diafragma	f/4 na média
Tempo de exposição	1/40 s na média
ISO	100
Distância focal	18mm

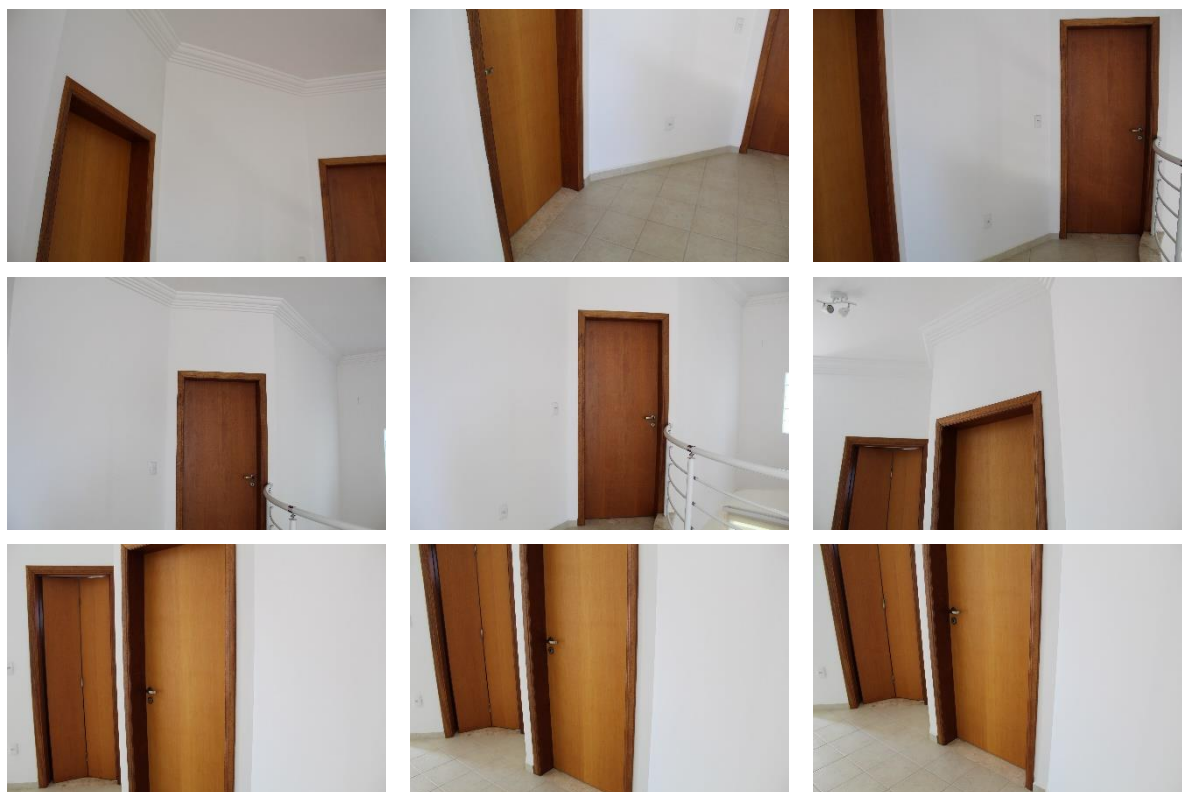
<b>Caso nº 3: Parede interna em casa na cidade de Sorocaba</b>	
Método e/ou Programa de processamento de dados capturados para nuvem de pontos	Fotogrametria DSM no Agisoft Metashape (houve correlação automática de pontos homólogos e também inserção manual de algumas referências, que são chamados de “markers” no programa).
Tempo de processamento para nuvem de pontos	35 minutos no Agisoft Metashape, para gerar todos os resultados abaixo.
Resultados e visualização dos dados processados para nuvem de pontos	Na ordem de processamento, primeiro nuvem, depois nuvem densa, malha TIN e por último malha TIN texturizada gerados no Agisoft Metashape. Ver Figura 40.
Avaliação dos resultados do processamento para nuvem de pontos (materialidade e dimensões)	Baixíssima qualidade. Não foi possível gerar nuvem de pontos e malhas TIN texturizadas adequadas ao objetivo proposto.
Limitações e problemas da captura e processamento	Possivelmente a nuvem de pontos e a malha TIN texturizada, de qualidade baixa, tem problemas associados aos seguintes fatos: as superfícies de parede eram muito homogêneas (sem contraste); não foi usado tripé; e não foram inseridos marcadores em campo.
Modelagem BIM com base na nuvem de pontos	Não foi possível fazer modelagem BIM devido aos problemas identificados na etapa de processamento de dados.
Tempo de modelagem BIM	Não se aplica.
Resultados e limitações da modelagem BIM	Não se aplica.

Figura 38 – Fotogrametria terrestre – Casa em Sorocaba – Parede interna – Local de captura fotográfica.



Fonte: planta existente digitalizada, com setas em azul indicando locais de captura fotográfica.

Figura 39 – Fotogrametria terrestre – Casa em Sorocaba – Parede interna – Amostra de fotos capturadas em campo.



Fonte: a autora.

Figura 40 – Fotogrametria terrestre – Casa em Sorocaba – Parede interna – Vista frontal do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.





Imagem 1



Imagem 2



Imagem 3

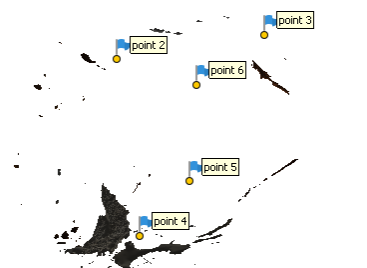


Imagem 4

Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é a nuvem de pontos. Imagem 2 superior direita é a nuvem de pontos com marcadores. Imagem 3 inferior esquerda é nuvem de pontos densa. Imagem 4 inferior direita é malha TIN. Três das quatro imagens possuem os marcadores de referência usados para o processamento dos dados fotogramétricos no Agisoft Metashape.

#### iv. Caso 4: Estante em apartamento em São Paulo

Ver Quadro 15 sobre o caso 4, com dados sobre captura, processamento, modelagens, análise dos resultados.

Quadro 15 – Fotogrametria terrestre - Dados sobre o caso 4 – Estante em apartamento em São Paulo.

Caso nº 4: Estante em apartamento em São Paulo.	
Método de captura	Câmera DSLR Canon Rebel T100
Objeto	Estante (móvel), interna à um apartamento.
Objetivo da captura	Capturar dados de uma estante (mobiliário).
Tempo da tomada fotográfica em campo	4 minutos

<b>Caso nº 4: Estante em apartamento em São Paulo.</b>	
Quantidade de capturas	43 fotos. Na Figura 41, mostra-se uma amostra das fotos capturadas.
Condição de iluminação	Dia claro, luz difusa proveniente de janelas próximas, em ambiente interno. Sem uso de luz artificial.
Condições de captura (sobreposições)	Houve algumas sobreposições dos dados. Na Figura 41 mostra-se uma amostra das fotos capturadas.
Condições de captura (áreas e planos)	Condições boas de captura no geral, exceto nos elementos superiores (captura não perpendicular às superfícies). Alguns planos estavam encobertos por elementos (objetos), sob as superfícies das estantes.
Condições de estabilidade (tripé)	Não houve uso de tripé.
Uso de marcadores ou referências	Não houve adição de marcadores em campo, contudo durante o processamento da fotogrametria no Autodesk Recap Photo, o programa faz correlações dos pontos homólogos. Ver Figura 42.
Condições do objeto (superfícies, irregularidades, contrastes, cores etc)	Superfícies da madeira possuem rugosidades (variações de cor e contrastes). Objetos posicionados sob a estante também tornaram-se referências de cores distintas, irregularidades e contrastes que podem ter ajudado no processamento da fotogrametria.
Tamanho e resolução	6,5 MB por foto, na média; 5174 pixels de largura por 3456 pixels de altura
Abertura do diafragma	f/4 na média
Tempo de exposição	1/80 s na média
ISO	1250
Distância focal	29mm
Método e/ou Programa de processamento de dados capturados para nuvem de pontos	Autodesk Recap Photo (houve correlação automática de pontos).

#### Caso nº 4: Estante em apartamento em São Paulo.

Tempo de processamento para nuvem de pontos	40 minutos no Autodesk Recap Photo, para gerar todos os resultados abaixo.
Resultados e visualização dos dados processados para nuvem de pontos	Geração de nuvem de pontos no Autodesk Recap Photo. Ver Figura 42.
Avaliação dos resultados do processamento para nuvem de pontos (materialidade e dimensões)	Boa qualidade da nuvem de pontos. A materialidade foi bem representada. Em termos dimensionais, os desvios geométricos das superfícies das estantes mais altas ficaram na ordem de 2 a 3 cm, comprometendo, por exemplo, a planitude das prateleiras horizontais (constatou-se ao modelar estantes perfeitamente planas, conforme se pode ver na Figura 43). Já nos demais planos, lateral e comprimento frontal, o desvio foi da ordem de 0,5 cm.
Limitações e problemas da captura e processamento	Os elementos da estante foram bem ilustrados na nuvem de pontos, exceto em 2 situações: 1) elementos altos, ora ocultos ou distantes do observador na tomada de foto, ficaram distorcidos; 2) elementos escondidos, devido às barreiras de visão causados por objetos, não geraram dados na nuvem.
Modelagem BIM com base na nuvem de pontos	Foi possível fazer um modelo das estantes no Autodesk Revit, usando a função de modelagem de componente, com base na nuvem de pontos do Agisoft Metashape. O modelo foi escalado em um eixo. Ver Figura 43.
Tempo de modelagem BIM	20 minutos.
Resultados e limitações da modelagem BIM	Boa qualidade geral do modelo, havendo apenas alguns desvios dimensionais relevantes no eixo da altura e pequenas omissões de representação de partes da superfície. Ver Figura 43.

Figura 41 – Fotogrametria terrestre – Estante – Apartamento em São Paulo – Amostra de fotos capturadas em campo.



Fonte: a autora.

Figura 42 – Fotogrametria terrestre – Estante – Apartamento em São Paulo – Vistas frontais da nuvem de pontos inserida no Revit, após processamento de fotogrametria feita na ferramenta Autodesk Recap Photo.



Imagem 1



Imagem 2



Imagem 3



Imagem 4

Fonte: a autora.

Figura 43 – Fotogrametria terrestre – Estante – Apartamento em São Paulo – Modelo BIM da feito no Autodesk Revit, com base na nuvem de pontos gerada na fotogrametria executada no Autodesk Recap Photo.



Imagem 1

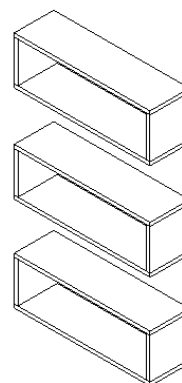


Imagem 2





Imagem 3

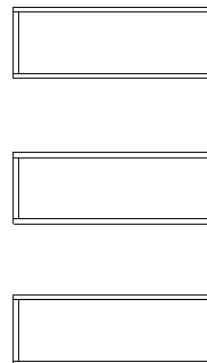


Imagem 4

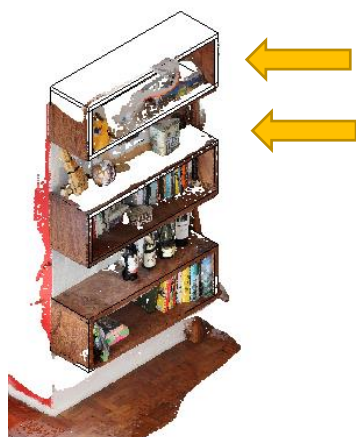


Imagem 5

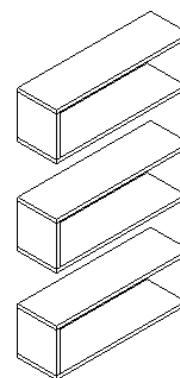


Imagem 6

Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é a vista superior direita da nuvem de pontos mesclada com o modelo. Imagem 2 superior direita é a vista superior direita apenas do modelo. Imagem 3 intermediária à esquerda é a vista frontal da nuvem de pontos mesclada com o modelo. Imagem 4 intermediária à direita é a vista frontal apenas do modelo. Imagem 5 inferior à esquerda é a vista superior esquerda da nuvem de pontos mesclada com o modelo, que mostra alguns desvios entre a nuvem e o modelo, conforme destacado na seta em amarelo. Imagem 6 inferior à direita é a vista superior esquerda apenas do modelo.

#### v. Caso 5: Parede externa em prédio em São Paulo

Ver Quadro 16 sobre o caso 5, com dados sobre captura, processamento, modelagens, análise dos resultados.

Quadro 16 – Fotogrametria terrestre - Dados sobre o caso 5 – Parede externa em prédio em São Paulo.

<b>Caso nº 5: Parede externa em prédio em São Paulo.</b>	
Método de captura	Câmera DSLR Canon Rebel T100
Objeto	Parede externa.
Objetivo da captura	Capturar dados de parte de uma parede externa de um prédio.
Tempo da tomada fotográfica em campo	6 minutos
Quantidade de capturas	66 fotos. Na Figura 44, mostra-se uma amostra das fotos capturadas.
Condição de iluminação	Dia claro, sem nuvens. Elementos próximos da parede geraram sombra no elemento.
Condições de captura (sobreposições)	Houve algumas sobreposições dos dados. Na Figura 44, mostra-se uma amostra das fotos capturadas.
Condições de captura (áreas e planos)	O espaço de onde era possível tirar fotos era livre e desimpedido.
Condições de estabilidade (tripé)	Houve uso de tripé.
Uso de marcadores ou referências	Não houve adição de marcadores em campo, apenas uso de referências já existentes na geometria (8 pontos), assinaladas no processamento da fotogrametria no Agisoft Metashape.
Condições do objeto (superfícies, irregularidades, contrastes, cores etc)	Partes da parede possuem médio ou alto contraste (sobretudo nas regiões onde existem patologias, como rachaduras e manchas) e parte possui baixo contraste (pintura cinza homogênea). Parte da parede tinha um objeto de barreira visual – um banco branco de ferro (mobiliário).
Tamanho e resolução	5,0 MB por foto, na média; 3456 pixels de largura por 2304 pixels de altura
Abertura do diafragma	f/9 na média
Tempo de exposição	1/250 s na média
ISO	100

Caso nº 5: Parede externa em prédio em São Paulo.	
Distância focal	32mm
Método e/ou Programa de processamento de dados capturados para nuvem de pontos	Fotogrametria DSM no Agisoft Metashape (houve correlação automática de pontos homólogos e também inserção manual de algumas referências, que são chamados de “markers” no programa).
Tempo de processamento para nuvem de pontos	25 minutos no Agisoft Metashape, para gerar todos os resultados abaixo.
Resultados e visualização dos dados processados para nuvem de pontos	Na ordem de processamento, primeiro nuvem, depois nuvem densa, malha TIN e por último malha TIN texturizada gerados no Agisoft Metashape. Ver Figura 45.
Avaliação dos resultados do processamento para nuvem de pontos (materialidade e dimensões)	No geral, a superfície da parede representada na nuvem e malha TIN tem geometria similar à realidade.
Limitações e problemas da captura e processamento	As partes da parede com melhor visibilidade frente à câmera e que estão mais expostas ao sol tem melhor representação; já algumas partes desta parede que possuem sombreamentos causados por outros elementos do entorno, interferências de barreiras visuais (mobiliário), ou ainda, buracos sombreados (rachaduras) possuem pior representação na nuvem de pontos.
Modelagem BIM com base na nuvem de pontos	Foi possível fazer um modelo da parede no Autodesk Revit, com base na nuvem de pontos do Agisoft Metashape. O modelo foi escalado em um eixo. Foi inserida nesta parede modelada no Revit uma representação das rachaduras principais, de forma simplificada. Ver Figura 46
Tempo de modelagem BIM	25 minutos.
Resultados e limitações da modelagem BIM	Qualidade geral média, havendo alguns trechos da parede omissos, devido às sombras e falta de dados causada por



### Caso nº 5: Parede externa em prédio em São Paulo.

objetos que reduziam a visibilidade do elemento construtivo.

Figura 44 – Fotogrametria terrestre – Parede externa em prédio em São Paulo – Amostra de fotos capturadas em campo.



Fonte: a autora.

Figura 45 – Fotogrametria terrestre – Parede externa em prédio em São Paulo – Vista frontal do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.



Imagem 1



Imagem 2



Imagem 3



Imagem 4

Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é a nuvem de pontos. Imagem 2 superior direita é a nuvem de pontos densa. Imagem 3 inferior esquerda é malha TIN. Imagem 4 inferior direita é malha TIN texturizada. Todas as imagens e processamento foram executados no Agisoft Metashape.

Figura 46 – Fotogrametria terrestre – Parede externa em prédio em São Paulo – Modelo BIM da feito no Autodesk Revit, com base na nuvem de pontos gerada na fotogrametria executada no Agisoft Metashape.



Imagem 1



Imagem 2



Imagem 3



Imagem 4

Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é a nuvem de pontos gerada no Agisoft Metashape. Imagem 2 superior direita é a nuvem de pontos mesclada com o modelo da parede feito no Autodesk Revit. Imagem 3 inferior esquerda é a nuvem de pontos mesclada com o modelo da parede feito no Autodesk Revit, onde foi representado de forma simplificada as principais rachaduras detectadas.

Imagem 4 inferior direita é apenas o modelo da parede com a representação simplificada das principais rachaduras.

#### vi. Caso 6: Canos expostos em prédio de apartamento em São Paulo

Ver Quadro 17 sobre o caso 6, com dados sobre captura, processamento, modelagens, análise dos resultados.

Quadro 17 – Fotogrametria terrestre - Dados sobre o caso 6 – Canos expostos em prédio em São Paulo.

<b>Caso nº 6: Canos expostos em prédio em São Paulo</b>	
Método de captura	Câmera DSLR Canon Rebel T100
Objeto	Canos (tubulações) no teto.
Objetivo da captura	Capturar dados de um teto com canos expostos (instalações prediais).
Tempo da tomada fotográfica em campo	9 minutos
Quantidade de capturas	42 fotos. Na Figura 47, mostra-se uma amostra das fotos capturadas.
Condição de iluminação	Luz artificial, superfícies claras e superfícies sombreadas causadas por objetos posicionados entre as luminárias e o objeto de captura.
Condições de captura (sobreposições)	Parece não ter havido sobreposições adequadas dos dados para facilitar processamento da fotogrametria (identificação de pontos homólogos). Na Figura 47, mostra-se uma amostra das fotos capturadas.
Condições de captura (áreas e planos)	Condições boas de captura no geral.
Condições de estabilidade (tripé)	Houve uso de tripé.
Uso de marcadores ou referências	Não houve adição de marcadores em campo, apenas uso de referências já existentes na geometria (11 pontos),

Caso nº 6: Canos expostos em prédio em São Paulo	
	assinaladas no processamento da fotogrametria no Agisoft Metashape. Ver Figura 48.
Condições do objeto (superfícies, irregularidades, contrastes, cores etc)	Superfícies possuem contraste (materiais e cores heterogêneos), havendo algumas sombras e texturas.
Tamanho e resolução	2,2 MB por foto, na média; 3456 pixels de largura por 2304 pixels de altura
Abertura do diafragma	f/5 na média
Tempo de exposição	2 s na média
ISO	100
Distância focal	55mm
Método e/ou Programa de processamento de dados capturados para nuvem de pontos	Fotogrametria DSM no Agisoft Metashape (houve correlação automática de pontos homólogos e também inserção manual de algumas referências, que são chamados de "markers" no programa).
Tempo de processamento para nuvem de pontos	35 minutos no Agisoft Metashape, para gerar todos os resultados abaixo.
Resultados e visualização dos dados processados para nuvem de pontos	Na ordem de processamento, primeiro nuvem, depois nuvem densa, malha TIN e por último malha TIN texturizada gerados no Agisoft Metashape. Ver Figura 48.
Avaliação dos resultados do processamento para nuvem de pontos (materialidade e dimensões)	Baixíssima qualidade. Não foi possível gerar nuvem de pontos e malhas TIN texturizadas adequadas ao objetivo proposto. A geometria possui grandes imprecisões, impedindo a identificação das formas básicas dos objetos.
Limitações e problemas da captura e processamento	Possivelmente a nuvem de pontos e a malha TIN texturizada, de qualidade baixa, tem problemas associados aos seguintes fatos: não houve adequada captura das imagens, através de sobreposições entre si das mesmas informações e possibilitando a



### Caso nº 6: Canos expostos em prédio em São Paulo

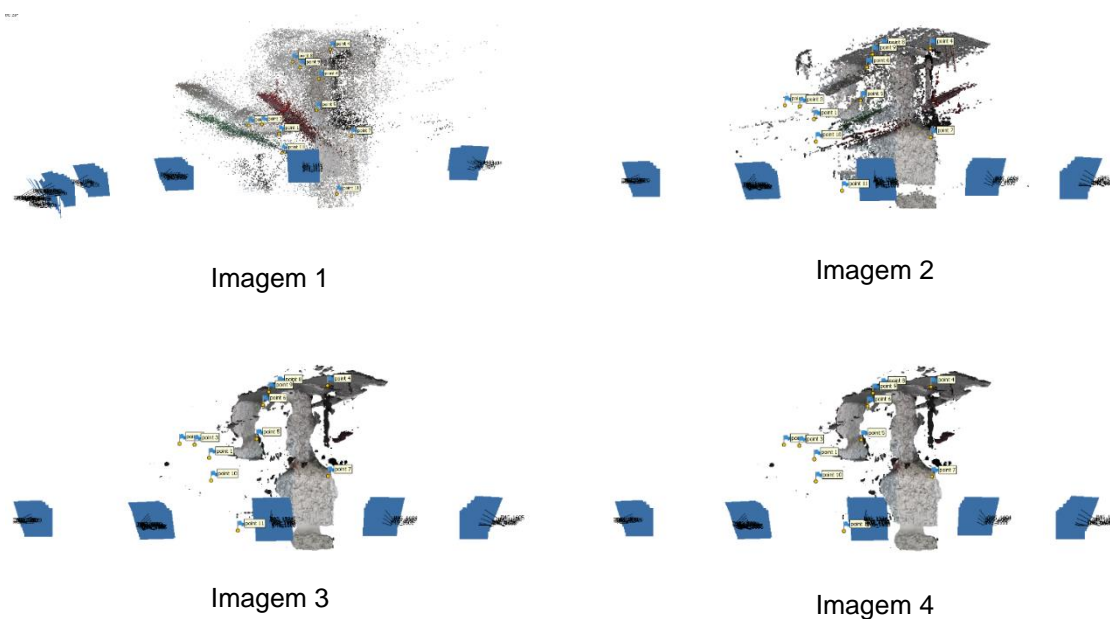
	<p>correlação dos pontos homólogos no processamento fotogramétrico; não foram usados marcadores em campo, facilitando esta correlação dos pontos; as condições eram desfavoráveis em termos de iluminação, fazendo com que a qualidade das fotos tenha sido reduzida (maior exposição, pixels com poucas informações e contrastes).</p>
Modelagem BIM com base na nuvem de pontos	Não foi possível fazer modelagem BIM devido aos problemas identificados na etapa de processamento de dados.
Tempo de modelagem BIM	Não se aplica.
Resultados e limitações da modelagem BIM	Não se aplica.

Figura 47 – Fotogrametria terrestre – Canos expostos em prédio em São Paulo - Amostra de fotos capturadas em campo.



Fonte: a autora.

Figura 48 – Fotogrametria terrestre – Canos expostos em prédio em São Paulo – Vistas do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.



Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é a nuvem de pontos. Imagem 2 superior direita é a nuvem de pontos densa. Imagem 3 inferior esquerda é a malha TIN. Imagem 4 inferior direita é malha TIN texturizada. Todas as imagens possuem os pontos de captura representados em azul e os marcadores de referência em pontos, usados para o processamento dos dados fotogramétricos no Agisoft Metashape.

### vii. Caso 7: Fachada externa da FAU USP

Ver Quadro 18 sobre o caso 7, com dados sobre captura, processamento, modelagens, análise dos resultados.

Quadro 18 – Fotogrametria terrestre - Dados sobre o caso 7 – Fachada externa da FAU USP.

<b>Caso nº 7: Fachada externa da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – cidade de São Paulo</b>	
Método de captura (equipamento)	Câmera DSLR Canon Rebel T100
Objeto	Fachada em edifício educacional de múltiplos pavimentos
Objetivo da captura	Capturar dados de parte da fachada do edifício, incluindo empena de fachada de concreto, caixilharia e pilar externo.
Tempo da tomada fotográfica em campo	4 minutos

<b>Caso nº 7: Fachada externa da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – cidade de São Paulo</b>	
Quantidade de capturas	38 fotos. Na Figura 51 mostra-se uma amostra das fotos capturadas.
Condição de iluminação	Dia claro, sem nuvens – ver Figura 49
Condições de captura (sobreposições)	Houve sobreposições dos dados, considerando as diversas fotos. Na Figura 51 mostra-se uma amostra das fotos capturadas.
Condições de captura (áreas e planos)	A fachada é composta por empenas de concreto, planos de caixilharia e pilar. A caixilharia do térreo e andar superior conseguiu ser capturada por fotos terrestres na altura do observador, através de capturas fotográficas tomadas em paralelo, sendo algumas destas perpendiculares ao objeto, como se pode ver na Figura 50. A empena de concreto da fachada também foi fotografada, mesmo estando muito alta e acima do observador – para isso, se inclinou a câmera para cima.
Condições de estabilidade (tripé)	Houve uso de tripé
Uso de marcadores ou referências	Não houve adição de marcadores em campo, apenas uso de referências já existentes na geometria (12 pontos), assinaladas no processamento no Agisoft Metashape - Ver Figura 52, Figura 53 e Figura 54.
Condições do objeto (superfícies, irregularidades, contrastes, cores etc)	Superfícies possuem bom contraste na empena e pilar de concreto em primeiro plano, devido à boa iluminação dos elementos e também à presença de patologias e tratamentos de cores diversas. Vidros, no entanto, tiveram condições

Caso nº 7: Fachada externa da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – cidade de São Paulo	
	adversas de captura devido à física (reflexão e translucidez).
Tamanho e resolução	3,5 MB por foto, na média; 3456 pixels de largura por 2304 pixels de altura
Abertura do diafragma	f/5 na média
Tempo de exposição	1/70 s na média
ISO	100
Distância focal	18mm
Método e/ou Programa de processamento de dados capturados para nuvem de pontos	Fotogrametria DSM no Agisoft Metashape (houve correlação automática de pontos homólogos e também inserção manual de algumas referências, que são chamados de “markers” no programa).
Tempo de processamento para nuvem de pontos	45 minutos no Agisoft Metashape, para gerar todos os resultados abaixo.
Resultados e visualização dos dados processados para nuvem de pontos	Na ordem de processamento, primeiro nuvem, depois nuvem densa, malha TIN e por último malha TIN texturizada gerados no Agisoft Metashape. Ver Figura 52, Figura 53 e Figura 54.
Avaliação dos resultados do processamento para nuvem de pontos (materialidade e dimensões)	Elementos em primeiro plano na vista frontal (Figura 54), tais como pilar e empena da fachada de concreto possuem melhor visualização que os elementos em segundo plano, como a caixilharia, devido à falta de luz direta nestas superfícies. Mesmo assim, a diferenciação entre primeiro e segundos planos e suas profundidades foram detectados e representados – ver Figura 50. O pilar, em termos de materialidade foi bem representado, e em termos de dimensões (x, y, z) teve desvios pequenos (menos de 2 cm), se comparados com medições feitas in loco com trena Bosch GLM 40. A empena da



### Caso nº 7: Fachada externa da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – cidade de São Paulo

	<p>fachada em concreto foi processada e modelada no programa Agisoft Metashape, mesmo sendo um elemento alto, muito acima da altura do observador que capturou as fotos; não foi possível medir elemento da empena in loco, então infere-se que houve distorções no modelo em termos dimensionais, sobretudo no eixo z (altura), devido à impossibilidade de capturar fotos desta empena de forma perpendicular ao plano desta fachada.</p>
<p>Limitações e problemas da captura e processamento</p>	<p>Houve omissões de dados da empena da fachada de concreto, devido às barreiras de copa de árvore - ver Figura 53 e Figura 54. Houve problemas de representação dos vidros, por limitações físicas (transparência, reflexão) – ver Figura 55. A grande altura dos elementos de fachada (empena de concreto) e o fato das tomadas fotográficas terem sido feitas na altura do observador pode ter gerado distorções, sobretudo no eixo z (altura).</p>
<p>Modelagem BIM com base na nuvem de pontos</p>	<p>Com a nuvem de pontos gerada pelo Agisoft Metashape (arquivo em extensão .laz), abriu-se o programa de manipulação de dados de nuvem Autodesk Recap para transformar o arquivo em extensão .rcp. Depois, o arquivo de nuvem de pontos .rcp foi inserido ao programa de modelagem BIM Autodesk Revit. Para modelar, usou-se como base os dados da nuvem de pontos, que foi escalada e alinhada em um eixo, conforme dados obtidos em campo através do uso de trena <i>laser</i> Bosch GLM 40 (altura</p>

### Caso nº 7: Fachada externa da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – cidade de São Paulo

	e larguras do pilar, largura dos caixilhos). Ver Figura 56.
Tempo de modelagem	10 minutos
Resultados e limitações da modelagem BIM	O modelo gerado representa o pilar e a empena de concreto apoiada acima do pilar, elementos estes que foram capturados em fotos e que estavam em primeiro plano nestas fotos. O pilar foi possível de modelar com maior precisão que a empena, conforme explicado anteriormente. Já elementos que estavam em segundo plano nas fotos, tais como os caixilhos de vedação do térreo e do primeiro andar, não foram representados pois a nuvem de pontos não tinha qualidade de informações (sobretudo dimensionais) suficiente para modelagem. Ver Figura 56.

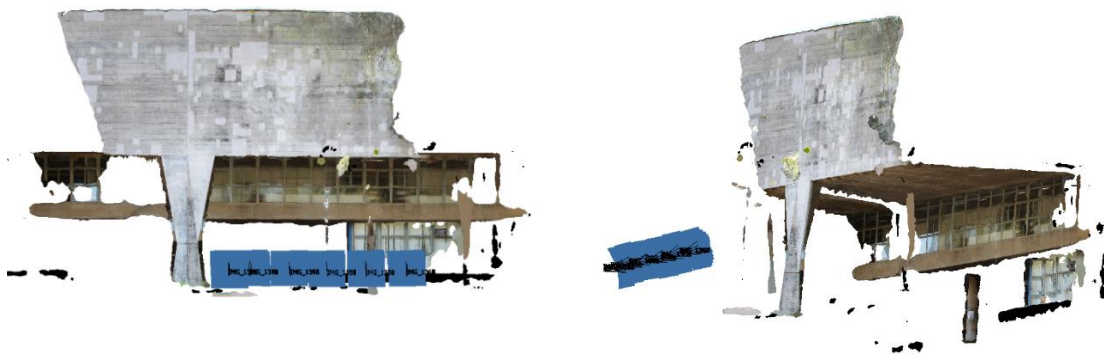
Fonte: a autora.

Figura 49 – Fotogrametria terrestre – Fachada da FAU-USP – Captura de fotos em campo.



Fonte: a autora.

Figura 50 – Fotogrametria terrestre – Fachada da FAU-USP – Locais de captura fotográfica indicadas em azul.



Fonte: a autora. Diversas capturas paralelas no plano horizontal e em diversos ângulos no plano vertical frente à fachada indicadas em azul, vistas em nuvem de pontos densa gerada no Agisoft Metashape.

Figura 51 – Fotogrametria terrestre – Fachada da FAU-USP – Amostra de fotos capturadas em campo.



Fonte: a autora. Diversas capturas paralelas no plano horizontal e em diversos ângulos no plano vertical frente à fachada.

Figura 52 – Fotogrametria terrestre – Fachada da FAU-USP – Vista oblíqua superior esquerda do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.



Imagem 1

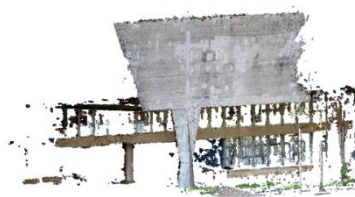


Imagem 2

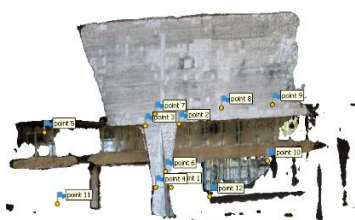


Imagem 3

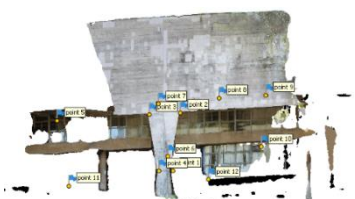


Imagem 4

Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é nuvem de pontos. Imagem 2 superior direita é nuvem de pontos densa. Imagem 3 inferior esquerda é malha TIN. Imagem 4 inferior direita é malha TIN texturizada. Todas as imagens possuem os marcadores de referência usados para o processamento dos dados fotogramétricos no Agisoft Metashape.

Figura 53 – Fotogrametria terrestre – Fachada da FAU-USA – Vista oblíqua direita do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.

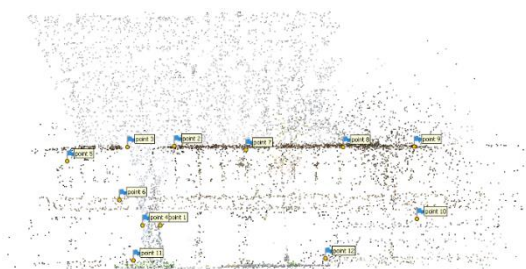


Imagem 1

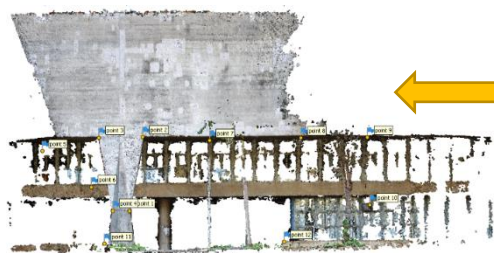


Imagem 2

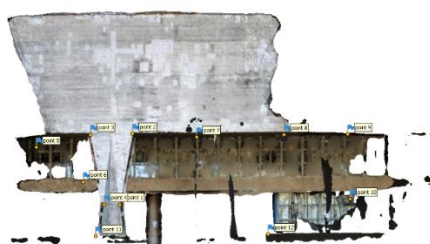


Imagem 3

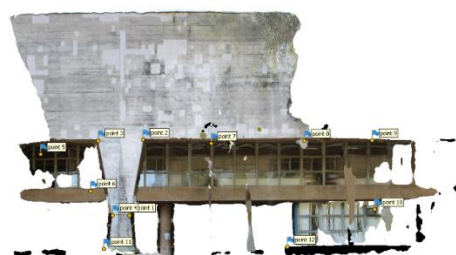
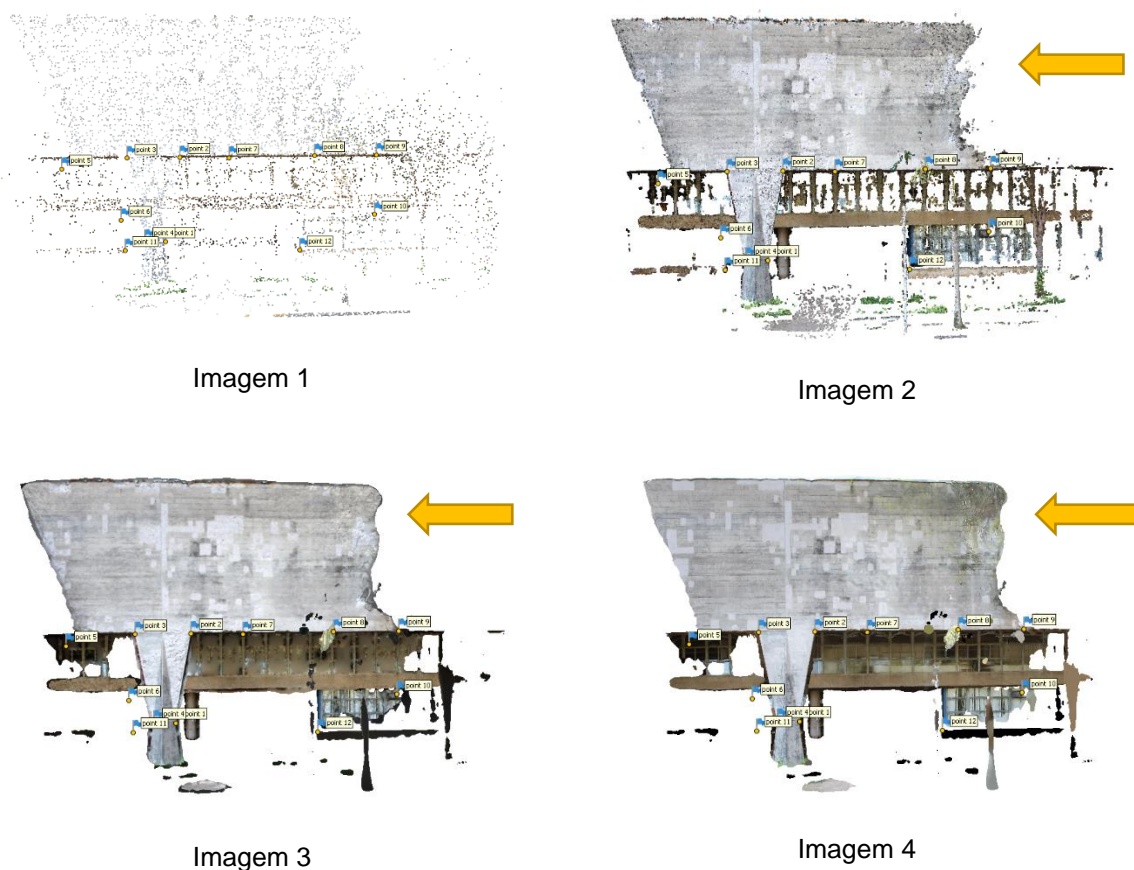


Imagem 4



Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é nuvem de pontos. Imagem 2 superior direita é nuvem de pontos densa. Imagem 3 inferior esquerda é malha TIN. Imagem 4 inferior direita é malha TIN texturizada. Todas as imagens possuem os marcadores de referência usados para o processamento dos dados fotogramétricos no Agisoft Metashape. Algumas distorções detectadas conforme destacado em amarelo.

Figura 54 – Fotogrametria terrestre – Fachada da FAU-USP – Vista frontal do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.



Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é nuvem de pontos. Imagem 2 superior direita é nuvem de pontos densa. Imagem 3 inferior esquerda é malha TIN. Imagem 4 inferior direita é malha TIN texturizada. Todas as imagens possuem os marcadores de referência usados para o processamento dos dados fotogramétricos no Agisoft Metashape. Algumas distorções detectadas conforme destacado em amarelo.

Figura 55 – Fotogrametria terrestre – Fachada da FAU-USP – Vista frontal do modelo de confiabilidade gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.



Fonte: a autora. Pontos em verde possuem maior confiabilidade e pontos em vermelho possuem menor confiabilidade. Analisa-se que elementos de vidro geraram maior imprecisão.

Figura 56 – Fotogrametria terrestre – Fachada da FAU-USP – Modelo BIM simplificado da empena da fachada e do pilar, feito no Autodesk Revit, com base na nuvem de pontos gerada na fotogrametria executada no Agisoft Metashape.



Imagem 1



Imagem 2

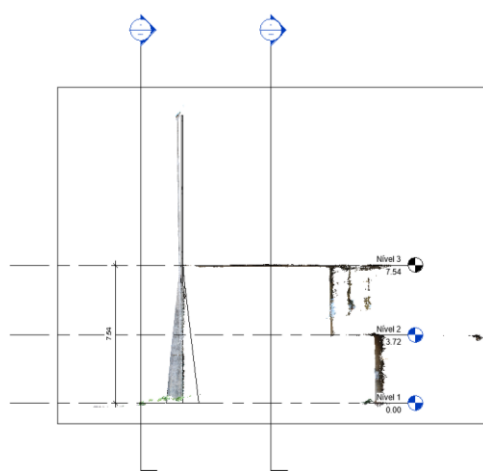


Imagem 3

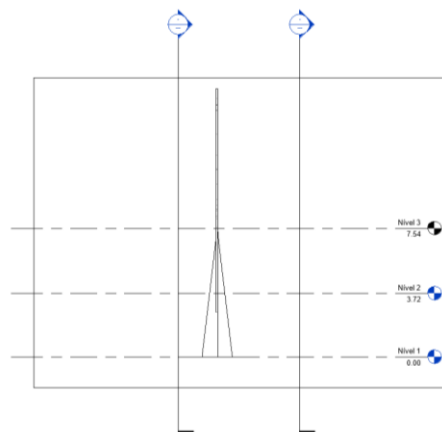


Imagem 4

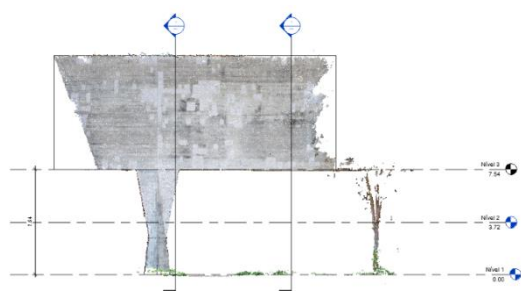


Imagem 5

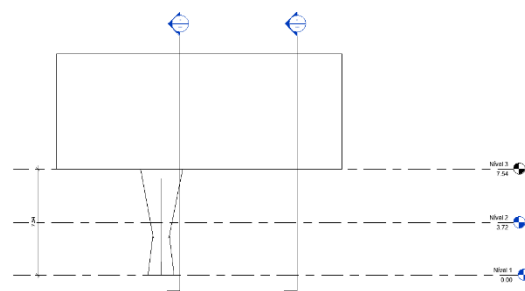


Imagem 6

Fonte: a autora. Imagem 1 superior à esquerda é a vista frontal em nuvem de pontos. Imagem 2 superior direita é a vista frontal com modelo da empena e pilar de fachada, mesclado com a nuvem de pontos. Imagem 3 intermediária à esquerda é o corte transversal da empena, com vista para o pilar, sendo o modelo mesclado com a nuvem de pontos. Imagem 4 intermediária à direita é o corte transversal da empena, com vista para o pilar, sendo apenas o modelo. Imagem 5 inferior à esquerda é o corte longitudinal com vista para empena e para o pilar, sendo o modelo mesclado com a nuvem de pontos. Imagem 6 inferior à direita é o corte transversal com vista para a empena e para o pilar, sendo apenas o modelo.

### viii. Caso 8: Pilar externo da FAU USP

Ver Quadro 19 sobre o caso 8, com dados sobre captura, processamento, modelagens, análise dos resultados.

Quadro 19 – Fotogrametria terrestre - Dados sobre o caso 8 - Pilar da FAU USP.

Caso nº 8: Pilar do Edifício da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – cidade de São Paulo	
Método de captura	Câmera DSLR Canon Rebel T100
Objeto	Pilar em edifício educacional de múltiplos pavimentos
Objetivo da captura	Capturar dados de um pilar externo da fachada do edifício
Tempo da tomada fotográfica em campo	10 minutos
Quantidade de capturas	103 fotos. Na Figura 59 mostra-se uma amostra das fotos capturadas.
Condição de iluminação	Dia claro, sem nuvens. Sombras na parte de trás do pilar foram causadas por conta da existência de laje de cobertura e devido à

**Caso nº 8: Pilar do Edifício da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – cidade de São Paulo**

	posição do sol. Ver Figura 57, Figura 58 e Figura 59.
Condições de captura (sobreposições)	Houve sobreposições dos dados, considerando as diversas fotos. Na Figura 59 mostra-se uma amostra das fotos capturadas.
Condições de captura (áreas e planos)	Circundou-se o objeto para obter dados dos diversos planos que compõem o pilar (estrutura de geometria irregular). As capturas tiveram ângulo aproximado de 30° entre si no plano horizontal, considerando como centro o pilar e a altura de captura foi a altura do observador, o que pode ter gerado distorções na parte superior do pilar, que possui altura grande (mais de 1 pavimento de altura), visto que a captura no plano vertical teve diversos ângulos (fotos na altura do observador). Ver Figura 58.
Condições de estabilidade (tripé)	Houve uso de tripé
Uso de marcadores ou referências	Não houve adição de marcadores em campo, apenas uso de referências já existentes na geometria (7 pontos), assinaladas no processamento da fotogrametria no Agisoft Metashape - Ver Figura 60, Figura 61 e Figura 62.
Condições do objeto (superfícies, irregularidades, contrastes, cores etc)	Superfícies possuem bom contraste entre materiais e suas cores, devido às sombras vistas na geometria do pilar e às cores diferentes observadas na patologia do concreto do pilar.
Tamanho e resolução	3,5 MB por foto, na média; 3456 pixels de largura por 2304 pixels de altura
Abertura do diafragma	f/4 na média
Tempo de exposição	1/50 s na média



<b>Caso nº 8: Pilar do Edifício da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – cidade de São Paulo</b>	
ISO	100
Distância focal	18mm
Método e/ou Programa de processamento de dados capturados para nuvem de pontos	Fotogrametria DSM no Agisoft Metashape (houve correlação automática de pontos homólogos e também inserção manual de algumas referências, que são chamados de “markers” no programa).
Tempo de processamento para nuvem de pontos	30 minutos no Agisoft Metashape, para gerar todos os resultados abaixo.
Resultados e visualização dos dados processados para nuvem de pontos	Na ordem de processamento, primeiro nuvem, depois nuvem densa, malha TIN e por último malha TIN texturizada gerados no Agisoft Metashape. Ver Figura 60, Figura 61 e Figura 62.
Avaliação dos resultados do processamento para nuvem de pontos (materialidade e dimensões)	No geral, as superfícies do pilar processado para nuvem e malha TIN tem geometria similar à realidade. Em análise detalhada, as superfícies do pilar que recebem luz direta solar possuem melhor representação na nuvem de pontos que as superfícies que estão mais sombreadas pela cobertura da empena de concreto. Ver Figura 60 e Figura 61, Figura 62 e Figura 63.
Limitações e problemas da captura e processamento de dados para nuvem de pontos	Houve pequenas distorções e omissões de dados em objetos com sombra, devido à falta de luz solar direta causada por cobertura de laje - ver Figura 62 e Figura 63.
Modelagem BIM com base na nuvem de pontos	Com a nuvem de pontos gerada pelo Agisoft Metashape (arquivo em extensão .laz), abriu-se o programa de manipulação de dados de nuvem Autodesk Recap para transformar o arquivo em extensão .rcp. Depois, o arquivo de nuvem de pontos .rcp foi inserido ao programa de modelagem BIM

### Caso nº 8: Pilar do Edifício da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – cidade de São Paulo

	Autodesk Revit. Para modelar, usou-se como base os dados da nuvem de pontos, que foi escalada e alinhada em um eixo, conforme dados obtidos em campo através do uso de trena <i>laser</i> Bosch GLM 40 (altura e larguras do pilar). Ver Figura 64.
Tempo de modelagem BIM	15 minutos
Resultados e limitações da modelagem BIM	O modelo do pilar ilustrou a materialidade e dimensões com boa precisão, sendo que em termos de geometria, foram tomadas para dar escala ao modelo as referências medidas em campo, que bateram com precisão com a nuvem escalada, variando em apenas 2 cm.

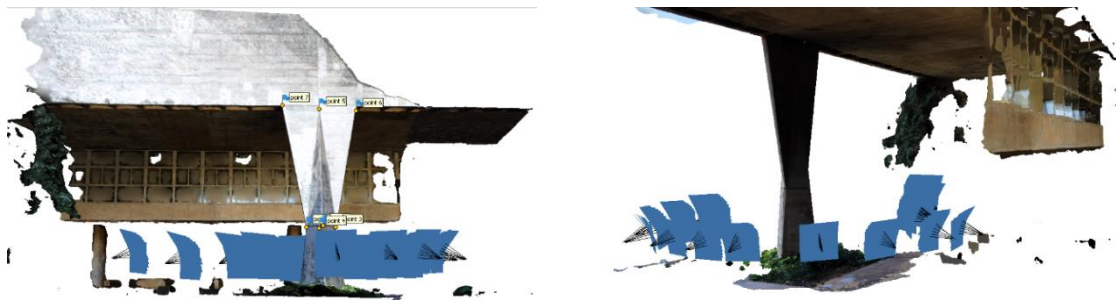
Fonte: a autora.

Figura 57 – Fotogrametria terrestre – Pilar da FAU-USP – Captura de fotos em campo.



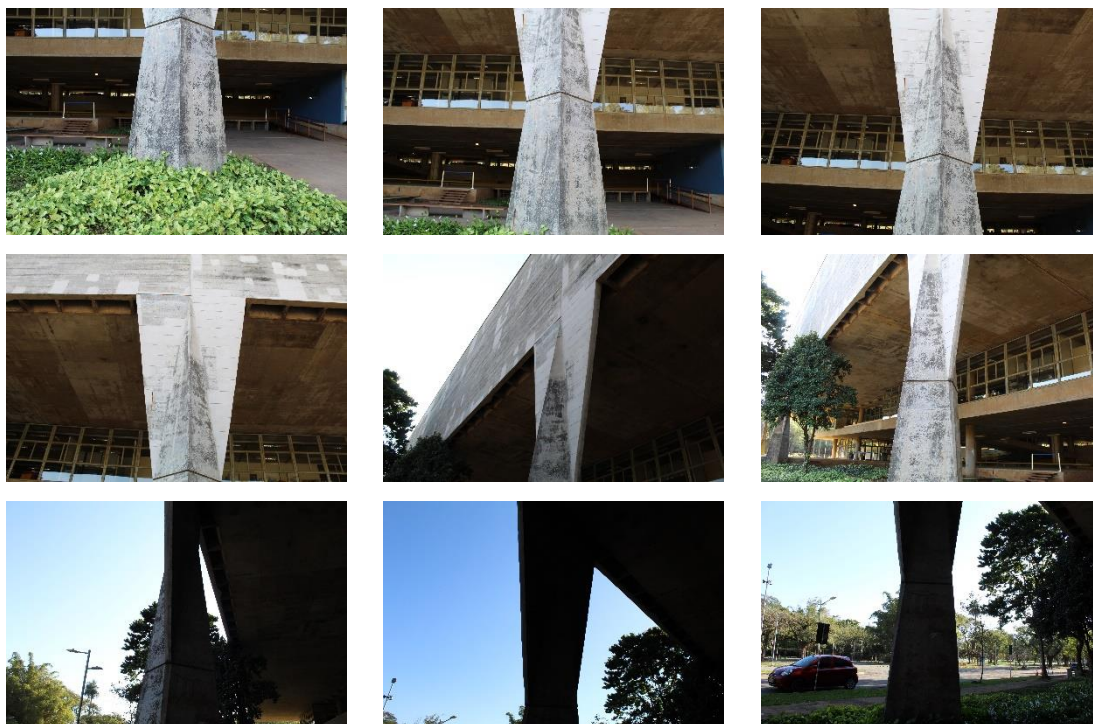
Fonte: a autora.

Figura 58 – Fotogrametria terrestre – Pilar da FAU-USP – Locais de captura fotográfica indicadas em azul.



Fonte: a autora. Diversas capturas no entorno do pilar indicadas em azul, vistas em nuvem de pontos densa gerada no Agisoft Metashape.

Figura 59 – Fotogrametria terrestre – Pilar da FAU-USP – Amostra de fotos capturadas em campo.



Fonte: a autora.

Figura 60 – Fotogrametria terrestre – Pilar da FAU-USP – Vista frontal do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.

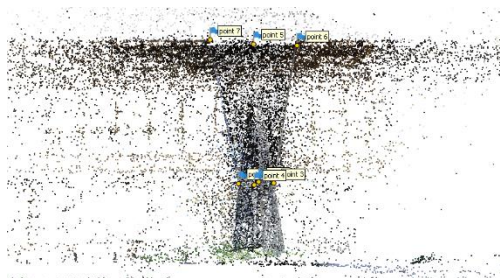


Imagem 1



Imagem 2

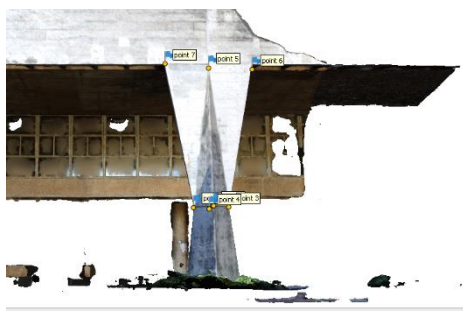


Imagem 3



Imagem 4

Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é nuvem de pontos. Imagem 2 superior direita é nuvem de pontos densa. Imagem 3 inferior esquerda é malha TIN. Imagem 4 inferior direita é malha TIN texturizada. Todas as imagens possuem os marcadores de referência usados para o processamento dos dados fotogramétricos no Agisoft Metashape.

Figura 61 – Fotogrametria terrestre – Pilar da FAU-USP – Vista oblíqua do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.



Imagem 1



Imagem 2





Imagem 3



Imagem 4

Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é nuvem de pontos. Imagem 2 superior direita é nuvem de pontos densa. Imagem 3 inferior esquerda é malha TIN. Imagem 4 inferior direita é malha TIN texturizada. Todas as imagens possuem os marcadores de referência usados para o processamento dos dados fotogramétricos no Agisoft Metashape.

Figura 62 – Fotogrametria terrestre – Pilar da FAU-USP – Vista oblíqua do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.

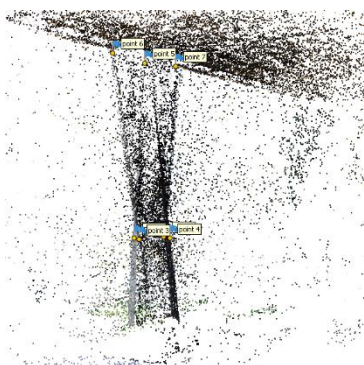


Imagem 1



Imagem 2



Imagem 3

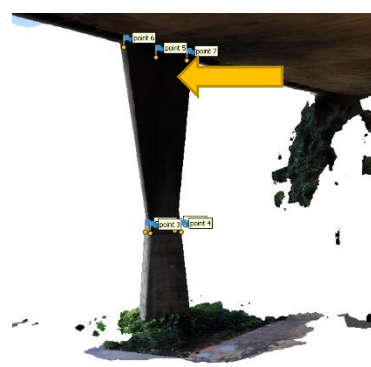


Imagem 4

Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é nuvem de pontos. Imagem 2 superior direita é nuvem de pontos densa. Imagem 3 inferior esquerda é malha TIN. Imagem 4 inferior direita é malha TIN texturizada. Todas as imagens possuem os marcadores de referência usados para o processamento dos dados fotogramétricos no Agisoft Metashape. Algumas distorções detectadas conforme destacado em amarelo.

Figura 63 – Fotogrametria terrestre – Pilar da FAU-USP – Vista oblíqua frontal e vista oblíqua de trás, do modelo de confiabilidade gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.



Fonte: a autora. Imagem à esquerda é vista oblíqua frontal do pilar. Imagem à direita é vista oblíqua traseira do pilar. Pontos em verde possuem maior confiabilidade e pontos em vermelho possuem menor confiabilidade. Entende-se que elementos sem luz geraram maior imprecisão e irregularidades na parte de trás superior do pilar, que possui mais sombra gerada pela cobertura do edifício.

Figura 64 – Fotogrametria terrestre – Pilar da FAU-USP – Modelo BIM simplificado do pilar, feito no Autodesk Revit, com base na nuvem de pontos gerada na fotogrametria executada no Agisoft Metashape.



Imagem 1

Imagem 2

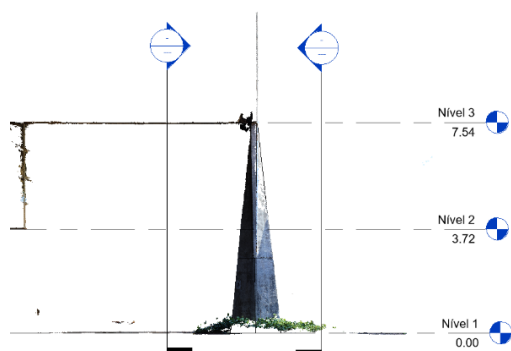


Imagem 3

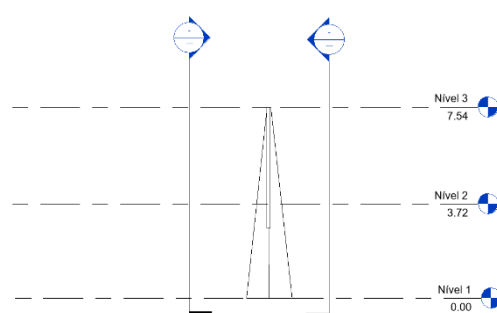


Imagem 4

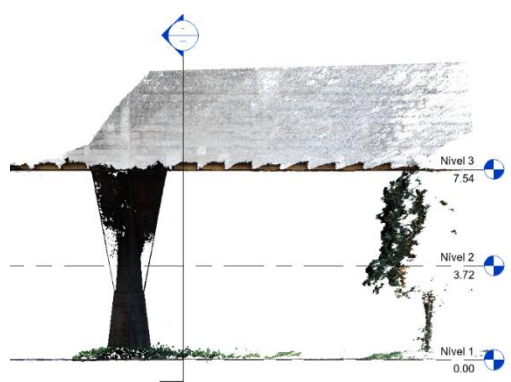


Imagem 5

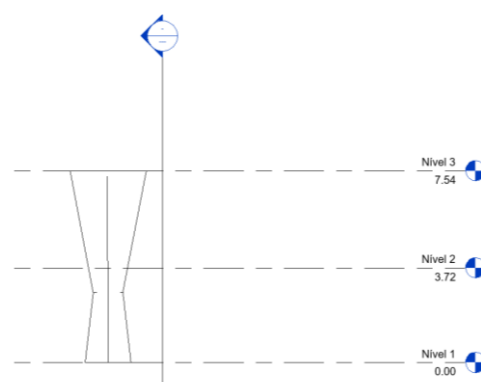


Imagem 6

Fonte: a autora. Imagem 1 superior à esquerda é a vista frontal do pilar em nuvem de pontos. Imagem 2 superior direita é a vista frontal do modelo do pilar, mesclado com a nuvem de pontos. Imagem 3 intermediária à esquerda é a vista lateral do pilar, sendo o modelo mesclado com a nuvem de pontos. Imagem 4 intermediária à direita é a vista lateral do pilar, sendo apenas o modelo. Imagem 5 inferior à esquerda é a vista traseira do pilar, sendo o modelo mesclado com a nuvem de pontos. Imagem 6 inferior à direita é a vista traseira do pilar, sendo apenas o modelo.

### ix. Caso 9: Portal de entrada no IME USP

Ver Quadro 20 sobre o caso 9, com dados sobre captura, processamento, modelagens, análise dos resultados.

Quadro 20 – Fotogrametria terrestre - Dados sobre o caso 9 – Portal de entrada no IME USP.

<b>Caso nº 9: Portal de entrada do edifício do Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo – cidade de São Paulo</b>	
Método de captura	Câmera DSLR Canon Rebel T100
Objeto	Entrada do edifício educacional de múltiplos pavimentos.
Objetivo da captura	Capturar dados de um portal de entrada na fachada do edifício.
Tempo da tomada fotográfica em campo	13 minutos
Quantidade de capturas	164 fotos. Na Figura 67 mostra-se uma amostra das fotos capturadas.
Condição de iluminação	Dia claro, sem nuvens. Algumas sombras incidem no objeto de captura. Ver Figura 65, Figura 66 e Figura 67.
Condições de captura (sobreposições)	Houve sobreposições dos dados, considerando as diversas fotos. Ver Figura 66 e Figura 67.
Condições de captura (áreas e planos)	Circundou-se o objeto para obter dados dos diversos planos que compõem o portal de entrada. As capturas tiveram ângulo aproximado de 15° entre si no plano horizontal, considerando como centro o portal e a altura de captura foi a altura do observador, o que pode ter gerado distorções na parte superior do edifício, que possui altura grande (mais de 2 pavimentos de altura), visto que a captura no plano vertical teve diversos ângulos (fotos na altura do observador). Ver Figura 66.
Condições de estabilidade (tripé)	Houve uso de tripé.
Uso de marcadores ou referências	Não houve adição de marcadores em campo, apenas uso de referências já existentes na geometria (16 pontos), assinaladas no processamento da fotogrametria no Agisoft Metashape. Ver Figura 68, Figura 69 e Figura 70.



### Caso nº 9: Portal de entrada do edifício do Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo – cidade de São Paulo

Condições do objeto (superfícies, irregularidades, contrastes, cores etc)	Superfícies possuem bom contraste entre materiais e suas cores. Alguns elementos do edifício e algumas vegetações geraram sombras e ocultaram parte dos objetos de captura.
Tamanho e resolução	3,5 MB por foto, na média; 3456 pixels de largura por 2304 pixels de altura
Abertura do diafragma	f/8 na média
Tempo de exposição	1/100 s na média
ISO	100
Distância focal	18mm
Método e/ou Programa de processamento de dados capturados para nuvem de pontos	Fotogrametria DSM no Agisoft Metashape (houve correlação automática de pontos homólogos e também inserção manual de algumas referências, que são chamados de “markers” no programa).
Tempo de processamento para nuvem de pontos	60 minutos no Agisoft Metashape, para gerar todos os resultados abaixo.
Resultados e visualização dos dados processados para nuvem de pontos	Na ordem de processamento, primeiro nuvem, depois nuvem densa, malha TIN e por último malha TIN texturizada gerados no Agisoft Metashape. Ver Figura 68, Figura 69 e Figura 70
Avaliação dos resultados do processamento para nuvem de pontos (materialidade e dimensões)	Qualidade média. Locais onde havia sombras ou elementos por detrás das barreiras (árvores), tiveram baixa qualidade de representação na nuvem de pontos. Além disso, elementos altos do edifício tiveram distorções.
Limitações e problemas da captura e processamento de dados para nuvem de pontos	Distorções e omissões de elementos do objeto, causadas pela sombra e existência de árvores. Além disso, a captura de dados de elementos altos do edifício foi prejudicada devido ao ângulo, ou seja, à baixa altura da

**Caso nº 9: Portal de entrada do edifício do Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo – cidade de São Paulo**

	tomada de fotos, gerando distorções dimensionais na nuvem de pontos. Ver Figura 71.
Modelagem BIM com base na nuvem de pontos	Não foi feita modelagem, devido às distorções e omissões da nuvem de pontos. Ver Figura 71.
Tempo de modelagem BIM	Não se aplica.
Resultados e limitações da modelagem BIM	Não se aplica.

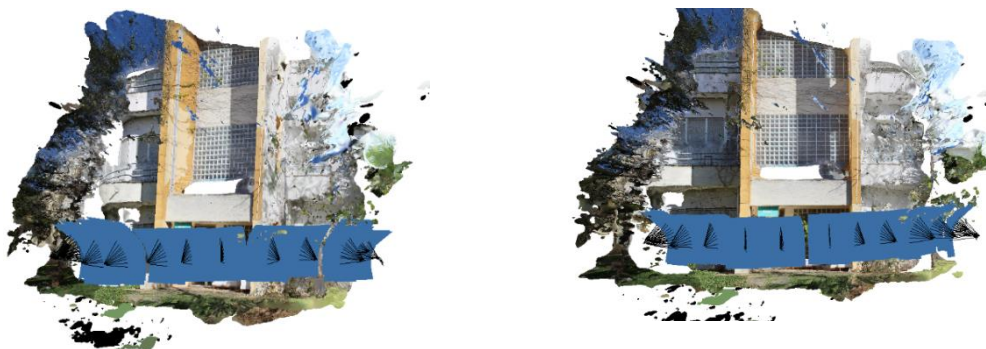
Fonte: a autora.

Figura 65 – Fotogrametria terrestre – Portal de entrada do IME-USP – Captura de fotos em campo.



Fonte: a autora.

Figura 66 – Fotogrametria terrestre – Portal de entrada do IME – Locais de captura fotográfica indicadas em azul.



Fonte: a autora. Diversas capturas no entorno da porta de entrada, indicadas em azul, vistas em nuvem de pontos densa gerada no Agisoft Metashape.

Figura 67 – Fotogrametria terrestre – Portal de entrada do IME – Amostra de fotos capturadas em campo.



Fonte: a autora. Pode-se notar as alterações de posicionamento de tripé e também que a câmera foi direcionada para diversas angulações horizontais e verticais.

Figura 68 – Fotogrametria terrestre – Portal de entrada do IME – Vista frontal do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.

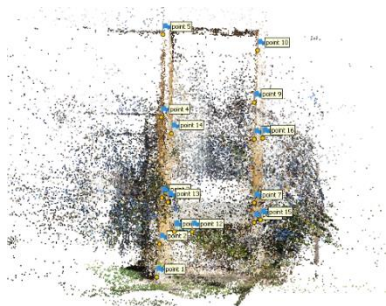


Imagem 1



Imagem 2





Imagem 3



Imagem 4

Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é nuvem de pontos, com os marcadores de referência (*markers*). Imagem 2 superior direita é nuvem de pontos densa. Imagem 3 inferior esquerda é malha TIN. Imagem 4 inferior direita é malha TIN texturizada. Processamento dos dados no Agisoft Metashape.

Figura 69 – Fotogrametria terrestre – Portal de entrada do IME – Vista oblíqua do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.



Imagem 1



Imagem 2



Imagem 3



Imagem 4

Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é nuvem de pontos, com os marcadores de referência (*markers*). Imagem 2 superior direita é nuvem de pontos densa, também com os marcadores. Imagem 3 inferior esquerda é malha TIN. Imagem 4 inferior direita é malha TIN texturizada. Processamento dos dados no Agisoft Metashape. Algumas distorções detectadas conforme destacado em amarelo.

Figura 70 – Fotogrametria terrestre – Portal de entrada do IME – Vista oblíqua do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.



Imagem 1



Imagem 2



Imagem 3

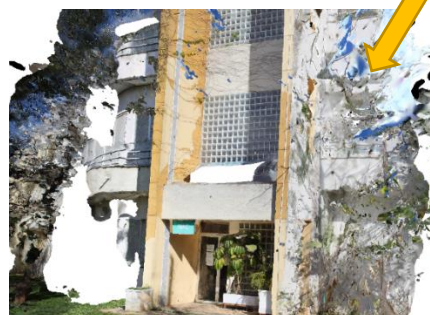


Imagem 4

Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é nuvem de pontos, com os marcadores de referência (*markers*). Imagem 2 superior direita é nuvem de pontos densa, também com os marcadores. Imagem 3 inferior esquerda é malha TIN. Imagem 4 inferior direita é malha TIN texturizada. Processamento dos dados no Agisoft Metashape. Algumas distorções detectadas conforme destacado em amarelo.

Figura 71 – Fotogrametria terrestre – Portal de entrada do IME – Nuvem de pontos gerada no Agisoft Metashape inserido no Autodesk Revit. Plantas e elevação.



Imagem 1

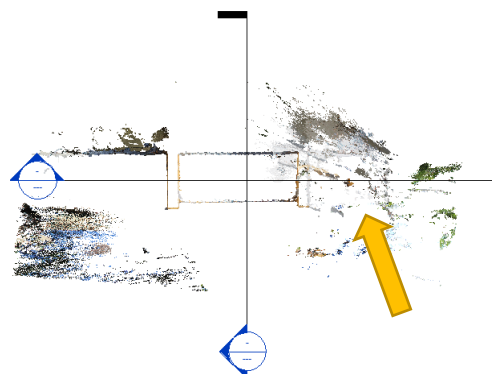


Imagem 2



Imagem 3

Fonte: a autora. As imagens acima são plantas e vistas da nuvem de pontos. Imagem 1 superior à esquerda é a planta no Nível 1. Imagem 2 superior direita é a planta no Nível 2. Imagem 3 inferior é a vista frontal da nuvem. Algumas distorções detectadas conforme destacado em amarelo.

#### x. Caso 10: Fachada externa no IME USP

Ver Quadro 21 sobre o caso 10, com dados sobre captura, processamento, modelagens, análise dos resultados.

Quadro 21 – Fotogrametria terrestre - Dados sobre o caso 10 – Portal de entrada no IME USP.

Caso nº 10: Fachada do edifício do Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo – cidade de São Paulo	
Método de captura	Câmera DSLR Canon Rebel T100
Objeto	Fachada do edifício educacional de múltiplos pavimentos.
Objetivo da captura	Capturar dados de uma fachada do edifício.
Tempo da tomada fotográfica em campo	5 minutos
Quantidade de capturas	71 fotos. Na Figura 72 mostra-se uma amostra das fotos capturadas.
Condição de iluminação	Dia claro, sem nuvens. Algumas sombras incidem no objeto de captura. Ver Figura 72, Figura 73 e Figura 74.

<b>Caso nº 10: Fachada do edifício do Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo – cidade de São Paulo</b>	
Condições de captura (sobreposições)	Houve sobreposições dos dados, considerando as diversas fotos. Ver Figura 73.
Condições de captura (áreas e planos)	Série de fotos tiradas lado à lado, em paralelo à fachada. Ver Figura 73. No andar térreo, o ângulo da foto foi perpendicular à fachada, já para elementos mais altos do edifício, o ângulo da câmera não foi perpendicular à fachada, uma vez que as fotos foram tiradas na altura do observador, o que pode ter gerado distorções no processamento da nuvem, na parte superior do edifício, que possui altura grande (mais de 2 pavimentos de altura).
Condições de estabilidade (tripé)	Houve uso de tripé.
Uso de marcadores ou referências	Não houve adição de marcadores em campo, apenas uso de referências já existentes na geometria (18 pontos), assinaladas no processamento da fotogrametria no Agisoft Metashape. Ver Figura 75, Figura 76 e Figura 77.
Condições do objeto (superfícies, irregularidades, contrastes, cores etc)	Superfícies da parede da fachada possuem contraste médio (cores similares). A fachada é encoberta por elementos à sua frente, tais como vegetações, gerando sombras e oclusões (elementos ocultos na fachada).
Tamanho e resolução	3,5 MB por foto, na média; 3456 pixels de largura por 2304 pixels de altura
Abertura do diafragma	f/10 na média
Tempo de exposição	1/250 s na média
ISO	100
Distância focal	18mm
Método e/ou Programa de processamento de dados capturados para nuvem de pontos	Fotogrametria DSM no Agisoft Metashape (houve correlação automática de pontos

<b>Caso nº 10: Fachada do edifício do Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo – cidade de São Paulo</b>	
	homólogos e também inserção manual de algumas referências, que são chamados de “markers” no programa).
Tempo de processamento para nuvem de pontos	60 minutos no Agisoft Metashape, para gerar todos os resultados abaixo.
Resultados e visualização dos dados processados para nuvem de pontos	Na ordem de processamento, primeiro nuvem, depois nuvem densa, malha TIN e por último malha TIN texturizada gerados no Agisoft Metashape. Ver Figura 75, Figura 76 e Figura 77.
Avaliação dos resultados do processamento para nuvem de pontos (materialidade e dimensões)	Qualidade baixa. Locais onde havia sombras ou elementos por detrás das barreiras (árvores), tiveram baixa qualidade de representação na nuvem de pontos. Além disso, elementos altos do edifício tiveram distorções.
Limitações e problemas da captura e processamento de dados para nuvem de pontos	Distorções e omissões de elementos do objeto, causadas pela sombra e existência de árvores. Além disso, a captura de dados de elementos altos do edifício foi prejudicada devido ao ângulo, ou seja, à baixa altura da tomada de fotos, gerando distorções dimensionais na nuvem de pontos. Ver Figura 75, Figura 76 e Figura 77.
Modelagem BIM com base na nuvem de pontos	Não foi feita modelagem, devido às distorções e omissões da nuvem de pontos. Ver Figura 75, Figura 76 e Figura 77.
Tempo de modelagem BIM	Não se aplica.
Resultados e limitações da modelagem BIM	Não se aplica.

Fonte: a autora.

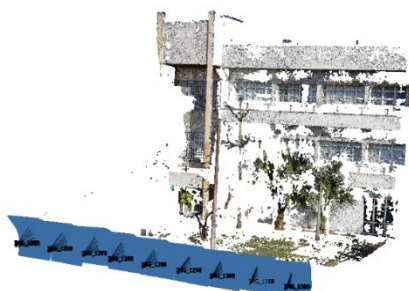
Figura 72 – Fotogrametria terrestre – Fachada do IME-USP – Captura de fotos em campo.





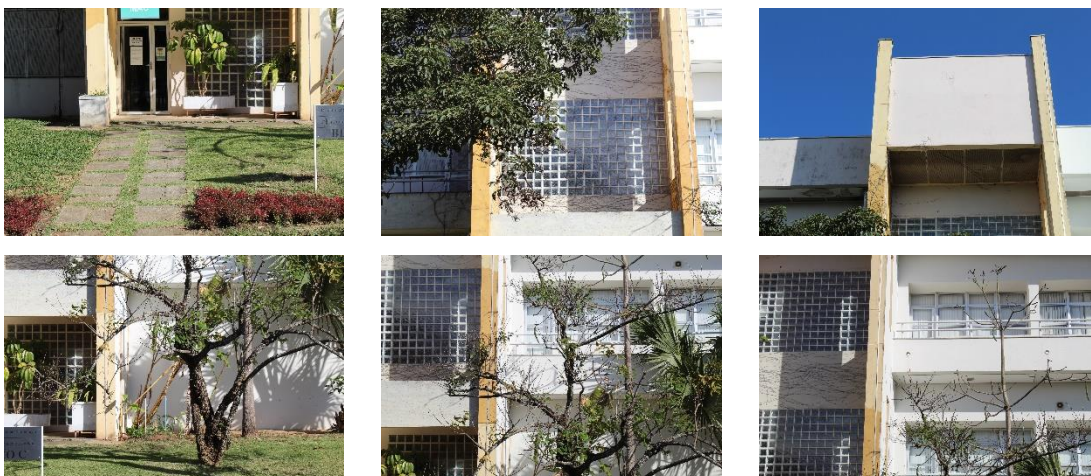
Fonte: a autora.

Figura 73 – Fotogrametria terrestre – Fachada do IME – Locais de captura fotográfica indicadas em azul.



Fonte: a autora. Diversas capturas paralelamente à fachada, indicadas em azul, na vista da nuvem de pontos densa gerada no Agisoft Metashape.

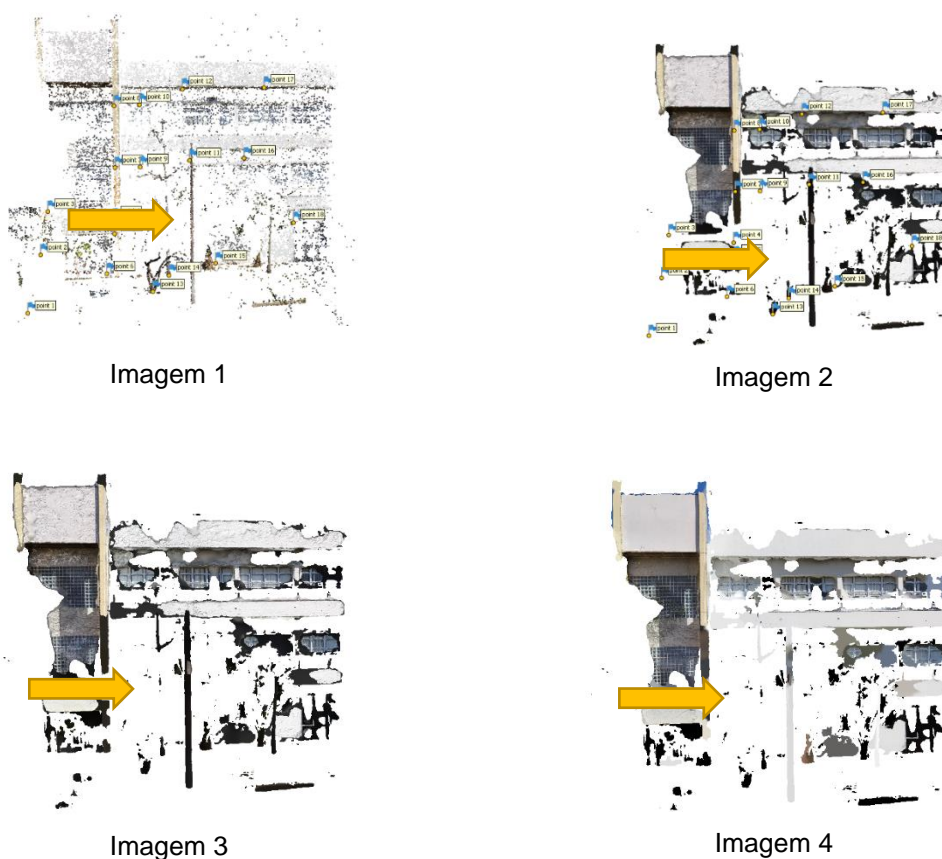
Figura 74 – Fotogrametria terrestre – Fachada do IME – Amostra de fotos capturadas em campo.





Fonte: a autora. Pode-se notar as alterações de posicionamento de tripé e também que a câmera foi direcionada para diversas angulações verticais.

Figura 75 – Fotogrametria terrestre – Fachada do IME – Vista frontal do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.



Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é nuvem de pontos, com os marcadores de referência (*markers*). Imagem 2 superior direita é nuvem de pontos densa, também com os marcadores. Imagem 3 inferior esquerda é malha TIN. Imagem 4 inferior direita é malha TIN texturizada. Processamento dos dados no Agisoft Metashape. Algumas distorções e omissões detectadas conforme destacado em amarelo.

Figura 76 – Fotogrametria terrestre – Fachada do IME – Vista oblíqua do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.

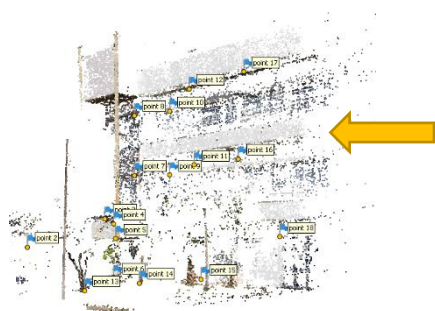


Imagem 1



Imagem 2

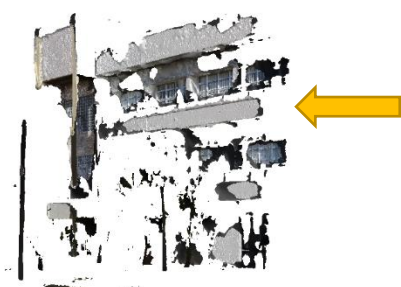


Imagem 3



Imagem 4

Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é nuvem de pontos, com os marcadores de referência (*markers*). Imagem 2 superior direita é nuvem de pontos densa, também com os marcadores. Imagem 3 inferior esquerda é malha TIN. Imagem 4 inferior direita é malha TIN texturizada. Processamento dos dados no Agisoft Metashape. Algumas distorções e omissões detectadas conforme destacado em amarelo.

Figura 77 – Fotogrametria terrestre – Fachada do IME – Vista oblíqua do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.



Imagem 1

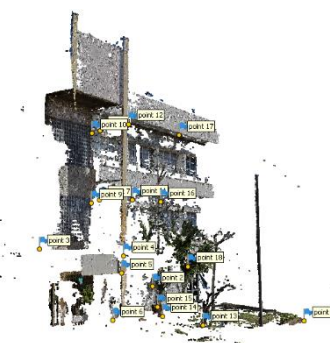


Imagem 2



Imagem 3



Imagem 4

Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é nuvem de pontos, com os marcadores de referência (*markers*). Imagem 2 superior direita é nuvem de pontos densa, também com os marcadores. Imagem 3 inferior esquerda é malha TIN. Imagem 4 inferior direita é malha TIN texturizada. Processamento dos dados no Agisoft Metashape.

### xi. Caso 11: Fachada externa na Eng. Civil da USP

Ver Quadro 22 sobre o caso 11, com dados sobre captura, processamento, modelagens, análise dos resultados.

Quadro 22 – Fotogrametria terrestre - Dados sobre o caso 11 - Fachada da Poli Civil USP.

Caso nº 11: Fachada do Edifício da Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – cidade de São Paulo	
Método de captura	Câmera DSLR Canon Rebel T100
Objeto	Fachada em edifício educacional de dois andares
Objetivo da captura	Capturar dados de parte da fachada do edifício, incluindo portas e esquadrias
Tempo da tomada fotográfica em campo	3 minutos
Quantidade de capturas	32 fotos. Na Figura 80, mostra-se uma amostra das fotos capturadas.
Condição de iluminação	Dia claro, sem nuvens – ver Figura 78.
Condições de captura (sobreposições)	Houve sobreposições dos dados, considerando as diversas fotos. Na Figura



Caso nº 11: Fachada do Edifício da Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – cidade de São Paulo	
	80, mostra-se uma amostra das fotos capturadas.
Condições de captura (áreas e planos)	A fachada é composta por planos de caixilharia e lajes de cobertura. A caixilharia do térreo conseguiu ser capturada por fotos terrestres na altura do observador, através de capturas fotográficas tomadas em paralelo, quase todas perpendiculares ao objeto, como se pode ver na Figura 78, na Figura 79 e na Figura 80.
Condições de estabilidade (tripé)	Houve uso de tripé.
Uso de marcadores ou referências	Não houve adição de marcadores em campo, apenas uso de referências já existentes na geometria (10 pontos), assinaladas no processamento da fotogrametria no Agisoft Metashape - Ver Figura 81 e Figura 82.
Condições do objeto (superfícies, irregularidades, contrastes, cores etc)	Superfícies possuem bom contraste entre materiais e suas cores, exceto no caso dos vidros (física do material tem translucidez e refletância, não podendo ser processado na fotogrametria).
Tamanho e resolução	3,5 MB por foto, na média; 3456 pixels de largura por 2304 pixels de altura
Abertura do diafragma	f/5
Tempo de exposição	1/60 s
ISO	100
Distância focal	18mm
Método e/ou Programa de processamento de dados capturados para nuvem de pontos	Fotogrametria DSM no Agisoft Metashape (houve correlação automática de pontos homólogos e também inserção manual de algumas referências, que são chamados de “markers” no programa).

**Caso nº 11: Fachada do Edifício da Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – cidade de São Paulo**

Tempo de processamento	30 minutos no Agisoft Metashape, para gerar todos os resultados abaixo.
Resultados e visualização dos dados processados para nuvem de pontos	Na ordem de processamento, primeiro nuvem, depois nuvem densa, malha TIN e por último malha TIN texturizada gerados no Agisoft Metashape. Ver Figura 81 e Figura 82.
Avaliação dos resultados do processamento para nuvem de pontos (materialidade e dimensões)	Elementos da fachada, no andar térreo, tiveram bom resultado, com geometria similar à realidade, sobretudo em materiais de vedação, como elemento na cor vinho no caixilho inferior, bem como nos montantes do caixilho em metal. Ver Figura 81 e Figura 82.
Limitações e problemas da captura e processamento de dados para nuvem de pontos	Houve distorções e omissões de dados em objetos mais altos que a posição de captura terrestre, sobretudo no andar superior (elementos horizontais de lajes de cobertura e vedações verticais de caixilhos) – ver Figura 82. Ainda no andar superior, barreiras como a copa da árvore impedem captura de dados de parte da fachada, gerando “ruído” e distorções nos dados processados – ver Figura 81. Objetos translúcidos (vidros) nos 2 pavimentos também tiveram imprecisões devido à limitação física do método (reflexos e distorções gerados pelo material) – ver Figura 83.
Modelagem BIM com base na nuvem de pontos	Com a nuvem de pontos gerada pelo Agisoft Metashape (arquivo em extensão .laz), abriu-se o programa de manipulação de dados de nuvem Autodesk Recap para transformar o arquivo em extensão .rcp. Depois, o arquivo de nuvem de pontos .rcp

### Caso nº 11: Fachada do Edifício da Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – cidade de São Paulo

	foi inserido ao programa de modelagem BIM Autodesk Revit. Para modelar, usou-se como base os dados da nuvem de pontos, que foi escalada e alinhada em um eixo, conforme dados obtidos em campo através do uso de trena laser Bosch GLM 40 (altura e larguras do caixilho). Ver Figura 84.
Tempo de modelagem BIM	30 minutos
Resultados e limitações da modelagem BIM	O modelo do caixilho ilustrou a materialidade (vidros, metais e plásticos) com boa precisão. Em termos de geometria, foram tomadas para dar escala ao modelo referências medidas em campo, que bateram com precisão com a nuvem escalada, variando em apenas 1 cm.

Fonte: a autora.

Figura 78 – Fotogrametria terrestre – Fachada da Poli-USP – Captura de fotos em campo.



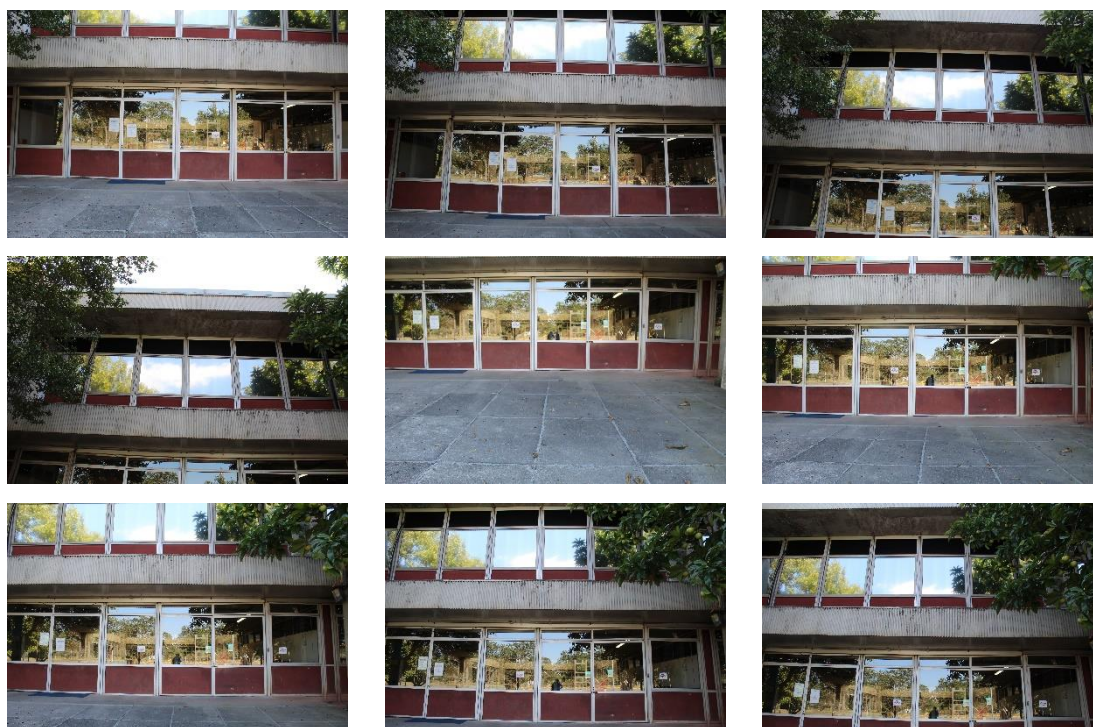
Fonte: a autora.

Figura 79 – Fotogrametria terrestre – Fachada da Poli-USP – Local de captura fotográfica.



Fonte: a autora. Capturas diversas indicadas em azul, no térreo do edifício, vistas frontais no modelo de nuvem de pontos densa, do Agisoft Metashape.

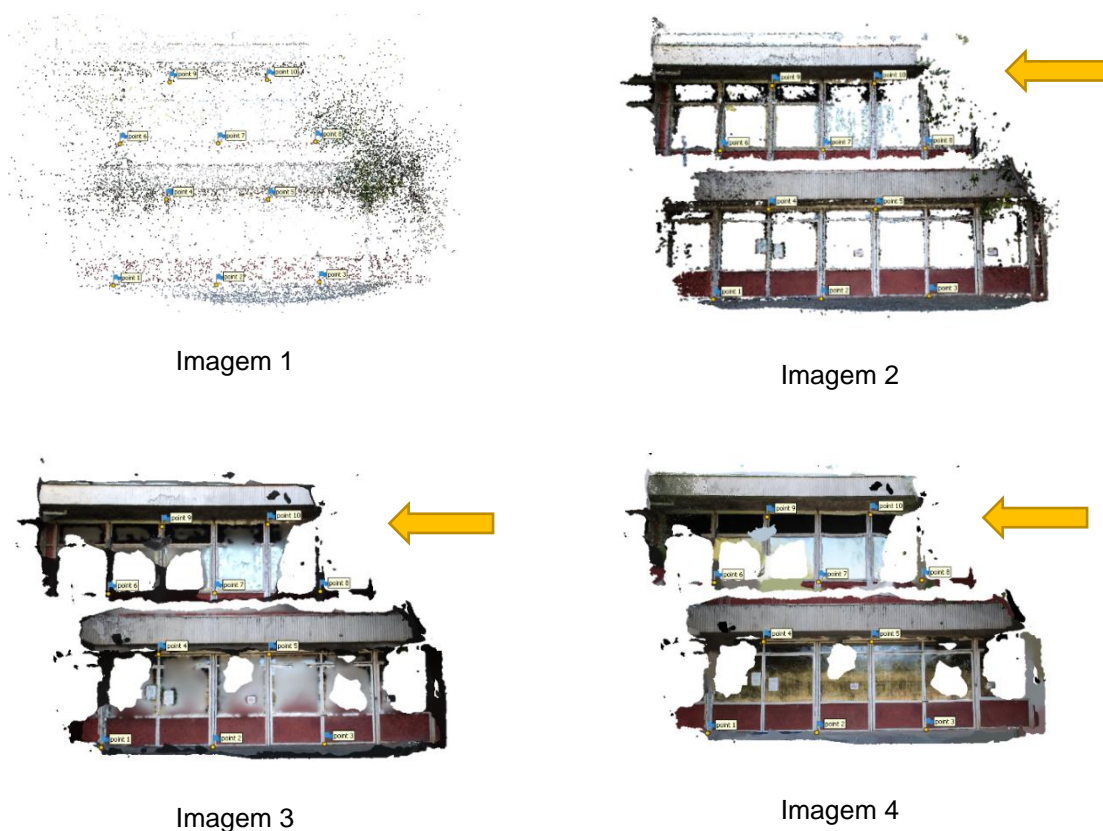
Figura 80 – Fotogrametria terrestre – Fachada da Poli-USP – Amostra de fotos capturadas em campo.



Fonte: a autora.

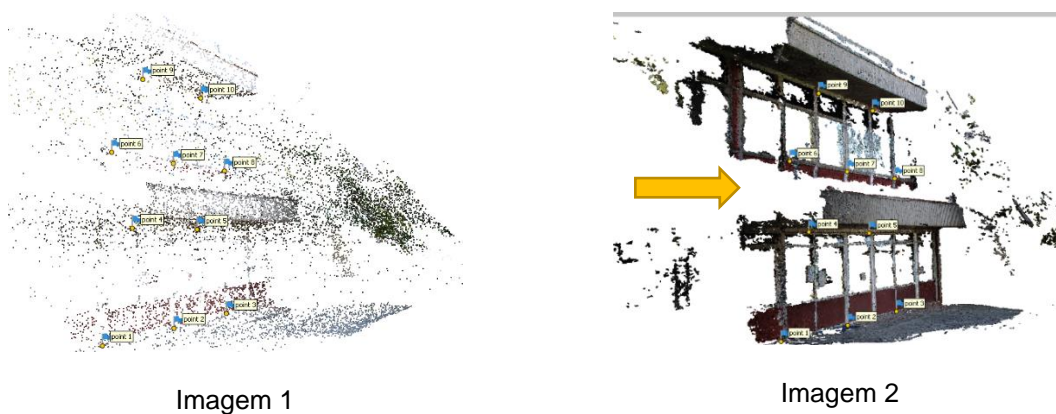
Figura 81 – Fotogrametria terrestre – Fachada da Poli-USP – Vista frontal do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.

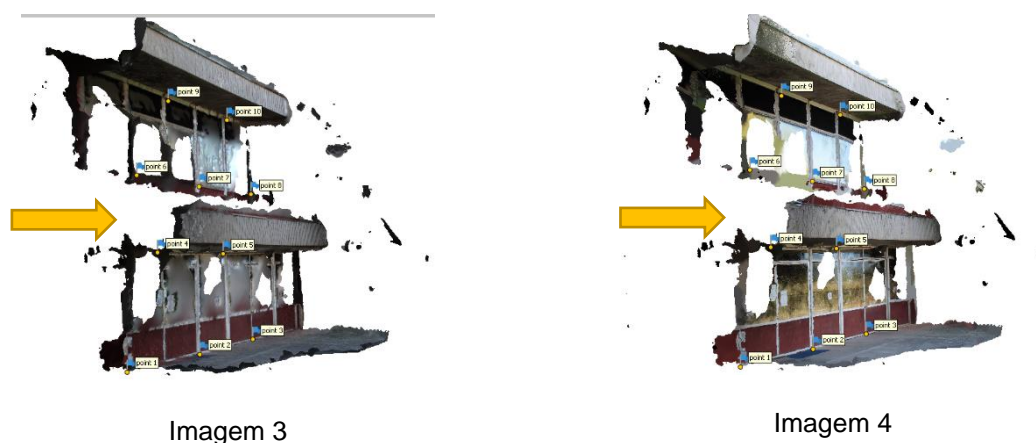




Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é nuvem de pontos. Imagem 2 superior direita é nuvem de pontos densa. Imagem 3 inferior esquerda é malha TIN. Imagem 4 inferior direita é malha TIN texturizada. Todas as imagens possuem os marcadores de referência usados para o processamento dos dados fotogramétricos no Agisoft Metashape. Algumas distorções detectadas conforme destacado em amarelo.

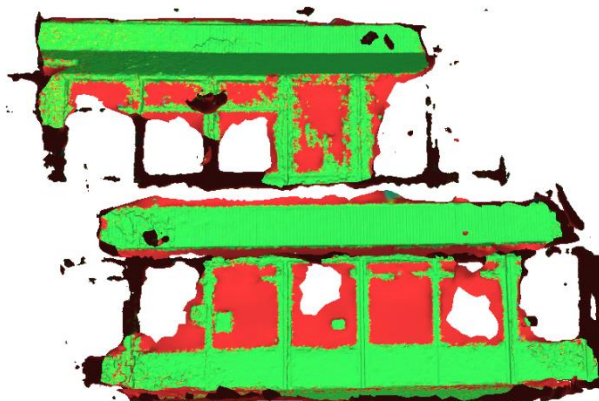
Figura 82 – Fotogrametria terrestre – Fachada da Poli-USP – Vista oblíqua do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.





Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é nuvem de pontos. Imagem 2 superior direita é nuvem de pontos densa. Imagem 3 inferior esquerda é malha TIN. Imagem 4 inferior direita é malha TIN texturizada. Todas as imagens possuem os marcadores de referência usados para o processamento dos dados fotogramétricos no Agisoft Metashape. Algumas distorções detectadas conforme destacado em amarelo.

Figura 83 – Fotogrametria terrestre – Fachada da Poli-USP – Vista frontal do modelo de confiabilidade gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.



Fonte: a autora. Pontos em verde possuem maior confiabilidade e pontos em vermelho possuem menor confiabilidade. Analisa-se que elementos de vidro geraram maior imprecisão.

Figura 84 – Fotogrametria terrestre – Fachada da Poli-USP – Modelo BIM simplificado da fachada, feito no Autodesk Revit, com base na nuvem de pontos gerada na fotogrametria executada no Agisoft Metashape.

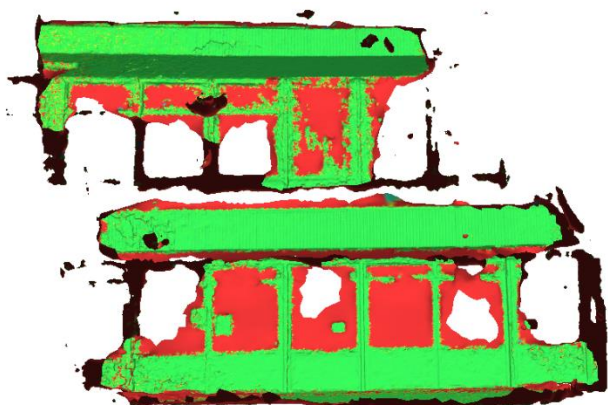


Imagem 1

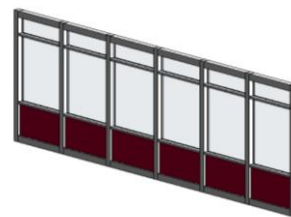


Imagem 2

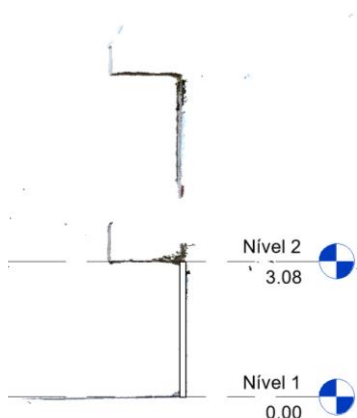


Imagem 3

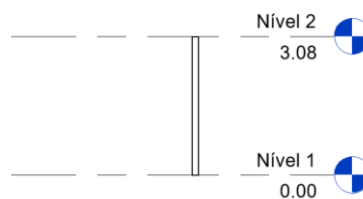


Imagem 4



Imagem 5

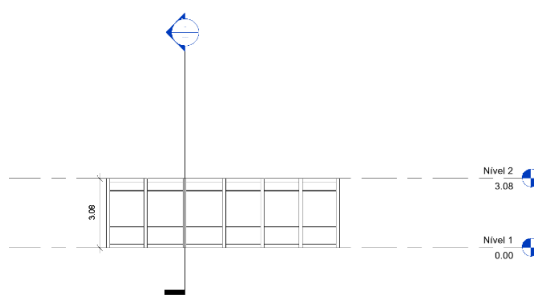


Imagem 6

Fonte: a autora. Imagem 1 superior à esquerda é a vista oblíqua da fachada em nuvem de pontos, mesclado com o modelo. Imagem 2 superior direita é a vista oblíqua apenas do modelo do pilar. Imagem 3 intermediária à esquerda é o corte da nuvem de pontos e do modelo de caixilharia mesclados. Imagem 4 intermediária à direita é o corte apenas do modelo da caixilharia. Imagem 5 inferior à esquerda é a vista frontal da fachada, sendo o modelo mesclado com a nuvem de pontos. Imagem 6 inferior à direita é a vista frontal da caixilharia, sendo apenas o modelo.

## xii. Caso 12: Pilar externo na Eng. Civil da USP

Ver Quadro 23 sobre o caso 12, com dados sobre captura, processamento, modelagens, análise dos resultados.

Quadro 23 – Fotogrametria terrestre - Dados sobre o caso 12 - Pilar da Poli Civil USP.

<b>Caso nº 12: Pilar do Edifício da Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – cidade de São Paulo</b>	
Método de captura	Câmera DSLR Canon Rebel T100
Objeto	Pilar em edifício educacional de dois andares
Objetivo da captura	Capturar dados de parte de um pilar externo da fachada do edifício (térreo).
Tempo da tomada fotográfica em campo	10 minutos
Quantidade de capturas	125 fotos. Na Figura 87, mostra-se uma amostra das fotos capturadas.
Condição de iluminação	Dia claro, sem nuvens. Sombras na parte de trás do pilar foram causadas por conta da existência de laje de cobertura. Ver Figura 85, Figura 90 e Figura 91.
Condições de captura (sobreposições)	Houve sobreposições dos dados, considerando as diversas fotos. Na Figura 87, mostra-se uma amostra das fotos capturadas.
Condições de captura (áreas e planos)	Circundou-se o objeto para obter dados dos diversos planos que compõem o pilar (estrutura de geometria irregular). As capturas tiveram ângulo aproximado de 30° entre si no plano horizontal, considerando como centro o pilar e a altura de captura foi a altura do observador, portanto limitou-se a obter dados do pilar apenas no andar térreo. Ver Figura 86.
Condições de estabilidade (tripé)	Houve uso de tripé.
Uso de marcadores ou referências	Não houve adição de marcadores em campo, apenas uso de referências já existentes na geometria (16 pontos),

**Caso nº 12: Pilar do Edifício da Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – cidade de São Paulo**

	assinaladas no processamento da fotogrametria no Agisoft Metashape - Ver Figura 88, Figura 89 e Figura 90.
Condições do objeto (superfícies, irregularidades, contrastes, cores etc)	Superfícies possuem bom contraste entre materiais e suas cores, devido às sombras vistas na geometria do pilar e às cores diferentes observadas na patologia do concreto do pilar.
Tamanho e resolução	3,5 MB por foto, na média; 3456 pixels de largura por 2304 pixels de altura
Abertura do diafragma	f/4 na média
Tempo de exposição	1/40 s na média
ISO	100
Distância focal	18mm
Método e/ou Programa de processamento de dados capturados para nuvem de pontos	Fotogrametria DSM no Agisoft Metashape (houve correlação automática de pontos homólogos e também inserção manual de algumas referências, que são chamados de “markers” no programa).
Tempo de processamento para nuvem de pontos	40 minutos no Agisoft Metashape, para gerar todos os resultados abaixo.
Resultados e visualização dos dados processados para nuvem de pontos	Na ordem de processamento, primeiro nuvem, depois nuvem densa, malha TIN e por último malha TIN texturizada gerados no Agisoft Metashape. Ver Figura 88, Figura 89 e Figura 90.
Avaliação dos resultados do processamento para nuvem de pontos (materialidade e dimensões)	Superfícies do pilar, no andar térreo, tiveram bom resultado, com geometria similar à realidade - ver Figura 88 e Figura 89. Em análise detalhada, as superfícies do pilar que recebem luz direta solar possuem melhor representação na nuvem de pontos que as superfícies que estão mais sombreadas pela cobertura – ver Figura 90

**Caso nº 12: Pilar do Edifício da Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – cidade de São Paulo**

	e Figura 91. As dimensões obtidas em campo com trena simples e trena <i>laser</i> Bosch GLM 40 tiveram variações menores que 1 cm nos eixos x, y e z.
Limitações e problemas da captura e processamento	Houve pequenas distorções e omissões de dados em objetos com sombra, devido à falta de luz solar direta causada por cobertura de laje. Ver Figura 90 e Figura 91.
Modelagem BIM com base na nuvem de pontos	Com a nuvem de pontos gerada pelo Agisoft Metashape (arquivo em extensão .laz), abriu-se o programa de manipulação de dados de nuvem Autodesk Recap para transformar o arquivo em extensão .rcp. Depois, o arquivo de nuvem de pontos .rcp foi inserido ao programa de modelagem BIM Autodesk Revit. Para modelar, usou-se como base os dados da nuvem de pontos, que foi escalada e alinhada em um eixo, conforme dados obtidos em campo através do uso de trena <i>laser</i> Bosch GLM 40 (altura e larguras do pilar). Ver Figura 92.
Tempo de modelagem BIM	15 minutos
Resultados e limitações da modelagem BIM	O modelo do pilar ilustrou a materialidade e dimensões com boa precisão, sendo que em termos de geometria, foram tomadas para dar escala ao modelo as referências medidas em campo, que bateram com precisão com a nuvem escalada, variando em apenas 1 cm. Ver Figura 92

Fonte: a autora.

Figura 85 – Fotogrametria terrestre – Pilar da Poli-USP – Captura de fotos em campo.





Fonte: a autora.

Figura 86 – Fotogrametria terrestre – Pilar da Poli-USP – Locais de captura fotográfica indicadas em azul.



Fonte: a autora. Diversas capturas no entorno do pilar indicadas em azul, vistas em nuvem de pontos densa gerada no Agisoft Metashape.

Figura 87 – Fotogrametria terrestre – Pilar da Poli-USP – Amostra de fotos capturadas em campo.





Fonte: a autora.

Figura 88 – Fotogrametria terrestre – Pilar da Poli-USP – Vista frontal do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.

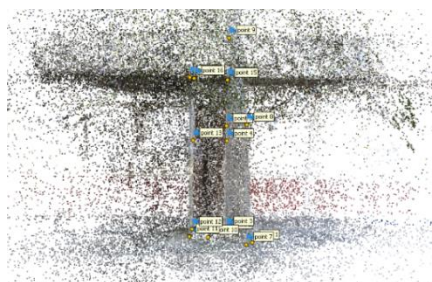


Imagem 1

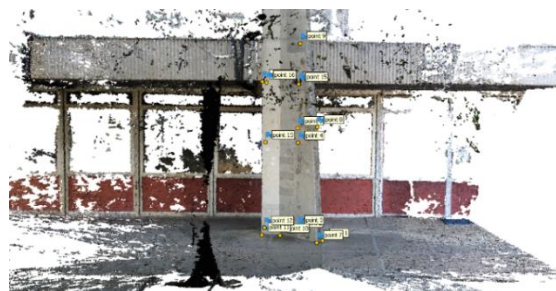


Imagem 2

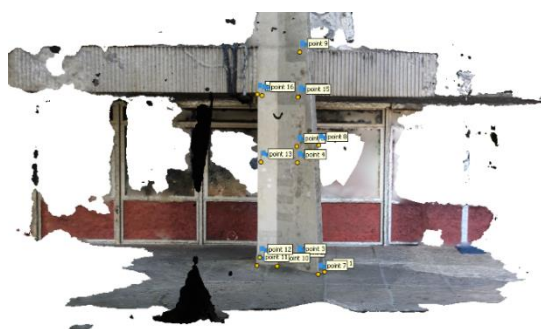


Imagem 3



Imagem 4

Fonte: a autora. Imagem superior direita é nuvem de pontos. Imagem superior esquerda é nuvem de pontos densa. Imagem inferior esquerda é malha TIN. Imagem inferior direita é malha TIN texturizada. Todas as imagens possuem os marcadores de referência usados para o processamento dos dados fotogramétricos no Agisoft Metashape.

Figura 89 – Fotogrametria terrestre – Pilar da Poli-USP – Vista oblíqua do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.



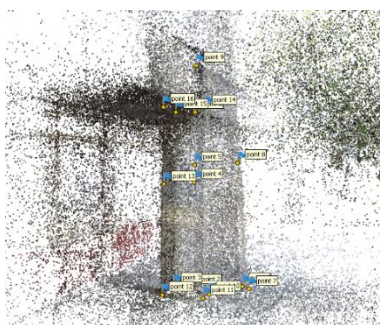


Imagem 1

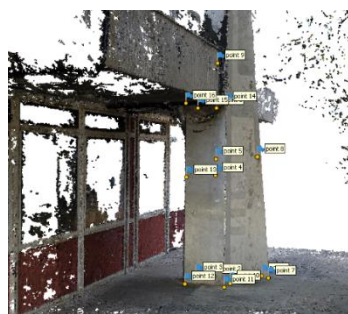


Imagem 2



Imagem 3



Imagem 4

Fonte: a autora. Imagem superior direita é nuvem de pontos. Imagem superior esquerda é nuvem de pontos densa. Imagem inferior esquerda é malha TIN. Imagem inferior direita é malha TIN texturizada. Todas as imagens possuem os marcadores de referência usados para o processamento dos dados fotogramétricos no Agisoft Metashape.

Figura 90 – Pilar da Poli-USP – Vista oblíqua do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.

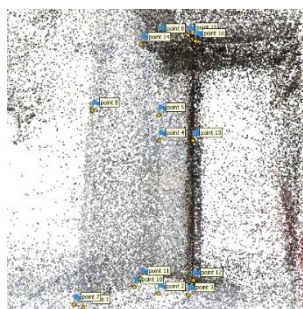


Imagem 1

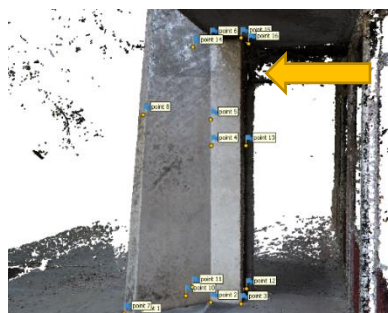
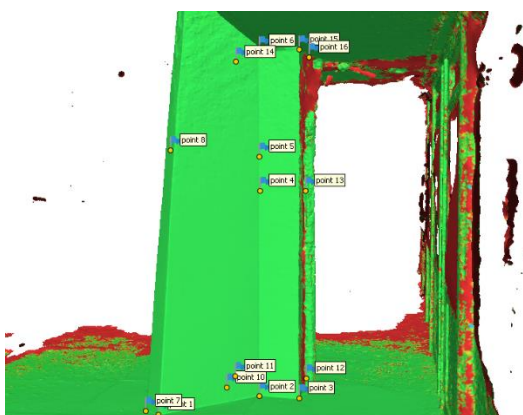


Imagem 2



Fonte: a autora. Imagem superior direita é nuvem de pontos. Imagem superior esquerda é nuvem de pontos densa. Imagem inferior esquerda é malha TIN. Imagem inferior direita é malha TIN texturizada. Todas as imagens possuem os marcadores de referência usados para o processamento dos dados fotogramétricos no Agisoft Metashape. Algumas distorções detectadas conforme destacado em amarelo.

Figura 91 – Fotogrametria terrestre – Pilar da Poli-USP – Vista oblíqua do modelo de confiabilidade gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.



Fonte: a autora. Pontos em verde possuem maior confiabilidade e pontos em vermelho possuem menor confiabilidade. Analisa-se que elementos sem luz geraram maior imprecisão nos canos que correm detrás do pilar e no próprio pilar (superfície sombreada que não recebe sol diretamente).

Figura 92 – Fotogrametria terrestre – Pilar da Poli-USP – Modelo BIM simplificado do pilar, feito no Autodesk Revit, com base na nuvem de pontos gerada na fotogrametria executada no Agisoft Metashape.



Imagem 1



Imagem 2

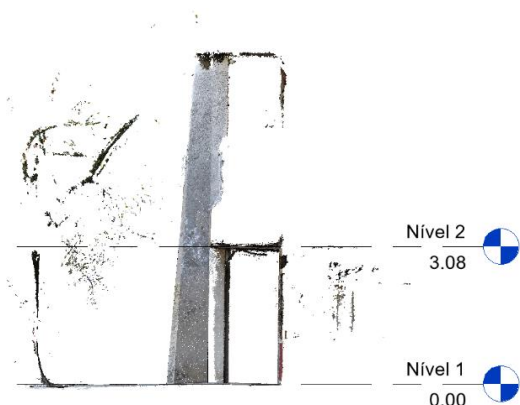


Imagem 3

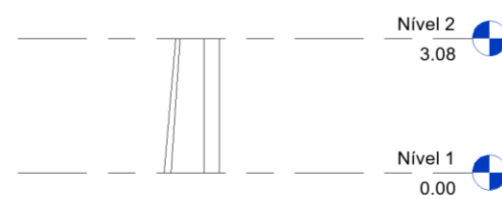


Imagem 4



Imagem 5

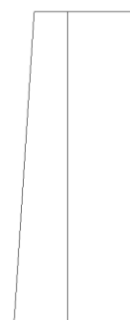


Imagem 6

Fonte: a autora. Imagem 1 superior à esquerda é a vista frontal do pilar em nuvem de pontos. Imagem 2 superior direita é a vista frontal do modelo do pilar, mesclado com a nuvem de pontos. Imagem 3 intermediária à esquerda é a vista lateral do pilar, em nuvem de pontos. Imagem 4 intermediária à direita é a vista lateral do pilar, sendo apenas o modelo. Imagem 5 inferior à esquerda é a vista traseira do pilar, em nuvem de pontos. Imagem 6 inferior à direita é a vista traseira do pilar, sendo apenas o modelo.

### xiii. Caso 13: Parede interna na Eng. Civil da USP

Ver Quadro 24 sobre o caso 13, com dados sobre captura, processamento, modelagens, análise dos resultados.

Quadro 24 – Fotogrametria terrestre – Dados sobre o caso 13 – Parede interna da Poli Civil USP.

<b>Caso nº 13: Parede interna no edifício do Edifício da Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – cidade de São Paulo</b>	
Método de captura	Câmera DSLR Canon Rebel T100
Objeto	Parede interna em sala de aula do edifício educacional de múltiplos pavimentos.
Objetivo da captura	Capturar dados de uma parede interna do edifício.
Tempo da tomada fotográfica em campo	3 minutos
Quantidade de capturas	56 fotos. Na Figura 93 mostra-se uma amostra das fotos capturadas.
Condição de iluminação	Luz artificial. Ver Figura 93.
Condições de captura (sobreposições)	Houve sobreposições dos dados, considerando as diversas fotos. Ver Figura 93.
Condições de captura (áreas e planos)	Capturas de imagens percorrendo o ambiente e formando um arco, frente à parede.
Condições de estabilidade (tripé)	Não houve uso de tripé.
Uso de marcadores ou referências	Houve adição de marcadores em campo. Ver Figura 93.
Condições do objeto (superfícies, irregularidades, contrastes, cores etc)	Lousa verde possui sujidades e texturas, havendo contraste em algumas partes desta lousa. Parte inferior da parede, pintada de branco, é homogênea, tendo pouco contraste.
Tamanho e resolução	1,8 MB por foto, na média; 5184 pixels de largura por 3456 pixels de altura
Abertura do diafragma	f/5 na média

<b>Caso nº 13: Parede interna no edifício do Edifício da Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – cidade de São Paulo</b>	
Tempo de exposição	1/20 s na média
ISO	400
Distância focal	25mm
Método e/ou Programa de processamento de dados capturados para nuvem de pontos	Fotogrametria DSM no Agisoft Metashape (houve correlação automática de pontos homólogos e também inserção manual de algumas referências, que são chamados de “markers” no programa).
Tempo de processamento para nuvem de pontos	40 minutos no Agisoft Metashape, para gerar todos os resultados abaixo.
Resultados e visualização dos dados processados para nuvem de pontos	Na ordem de processamento, primeiro nuvem, depois nuvem densa, malha TIN e por último malha TIN texturizada gerados no Agisoft Metashape. Ver Figura 94, Figura 95 e Figura 96.
Avaliação dos resultados do processamento para nuvem de pontos (materialidade e dimensões)	Qualidade média. Em termos de materialidade e dimensões, a representação em nuvem de pontos foi adequada. Desvios dimensionais de aproximadamente 3 cm. Houve pequenos desvios na geometria, em formatos curvos, tanto no plano vertical (vista) quanto no plano horizontal (planta). Ver Figura 94, Figura 95 e Figura 96.
Limitações e problemas da captura e processamento de dados para nuvem de pontos	Elementos brancos (parte inferior da parede) tiveram omissões na nuvem de pontos, visto que a foto e a superfície tinham pouco contraste. Outro problema observado foi a não planicidade da nuvem de pontos, tanto na vista quanto na planta da parede, que apresentaram curva, provavelmente devido à forma de captura (item 8 acima).
Modelagem BIM com base na nuvem de pontos	Ver Figura 96.
Tempo de modelagem BIM	15 minutos.



**Caso nº 13: Parede interna no edifício do Edifício da Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – cidade de São Paulo**

Apesar dos desvios e omissões da nuvem de pontos, a modelagem foi feita, pois correções foram aplicadas conforme os dados obtidos em campo com trena *laser*. Ver Figura 96.

Resultados e limitações da modelagem BIM

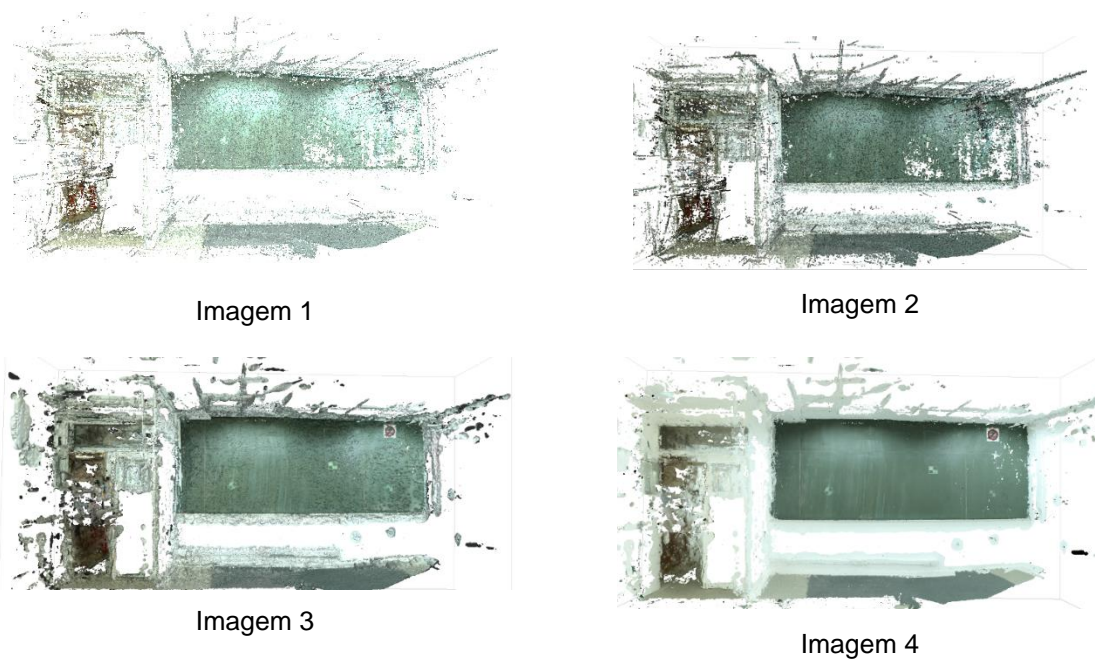
Fonte: a autora.

Figura 93 – Fotogrametria terrestre – Parede interna da Poli-USP – Amostra de fotos capturadas em campo.



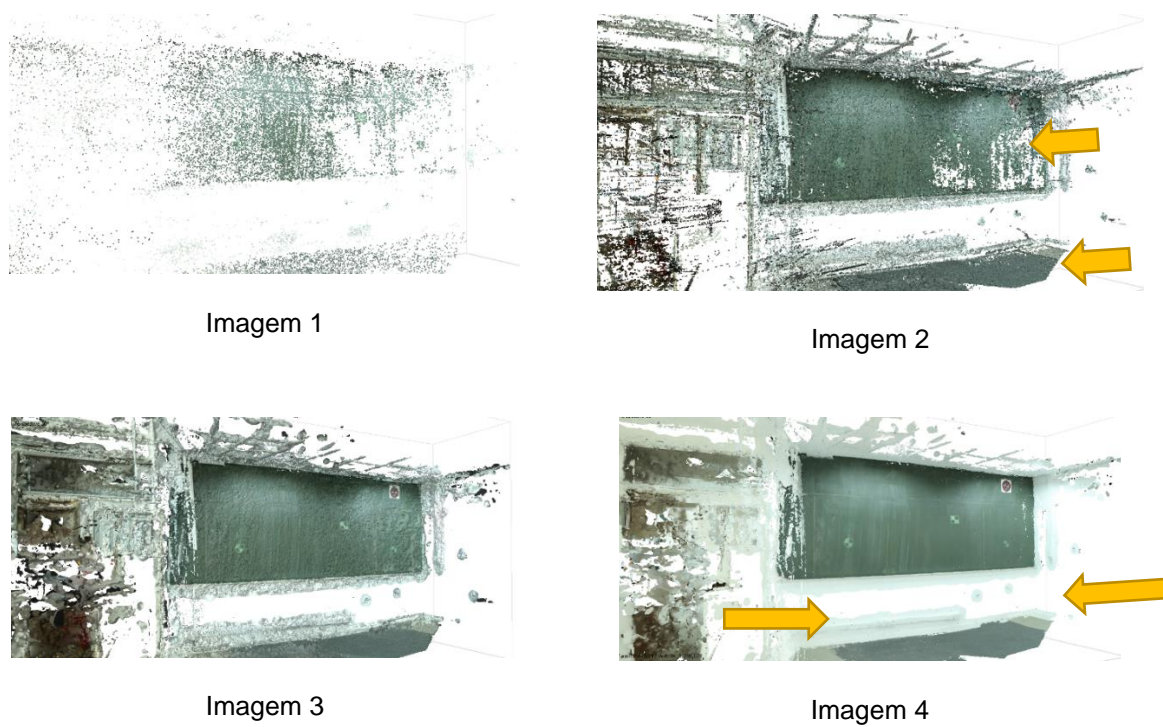
Fonte: a autora. Pode-se notar que a câmera foi direcionada para diversas angulações horizontais e verticais.

Figura 94 – Fotogrametria terrestre – Parede interna da Poli-USP – Vista frontal do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.



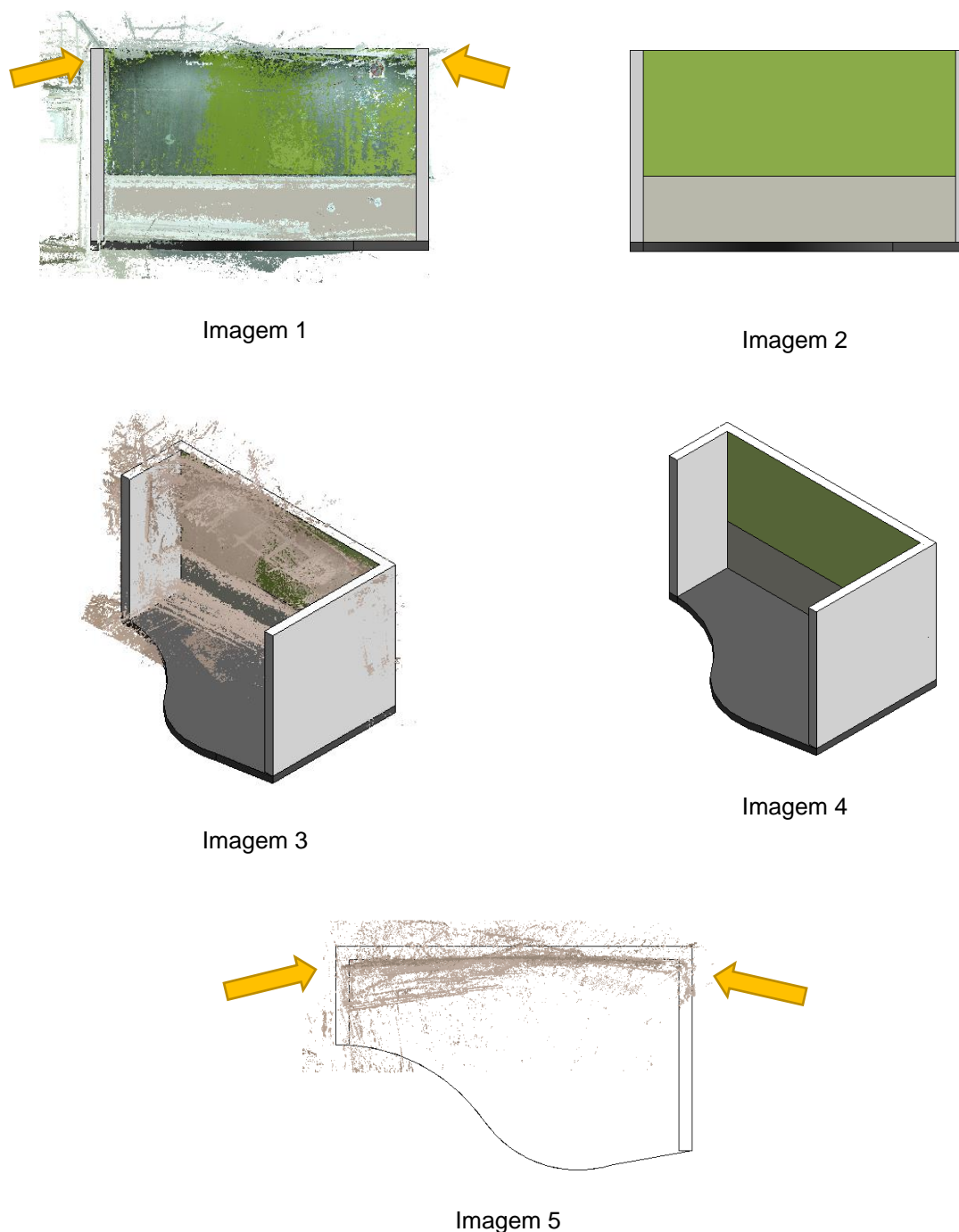
Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é nuvem de pontos. Imagem 2 superior direita é nuvem de pontos densa. Imagem 3 inferior esquerda é malha TIN. Imagem 4 inferior direita é malha TIN texturizada.

Figura 95 – Fotogrametria terrestre – Parede interna da Poli-USP – Vista oblíqua do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.



Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é nuvem de pontos. Imagem 2 superior direita é nuvem de pontos densa. Imagem 3 inferior esquerda é malha TIN. Imagem 4 inferior direita é malha TIN texturizada. Processamento dos dados no Agisoft Metashape. Algumas omissões detectadas conforme destacado em amarelo.

Figura 96 – Fotogrametria terrestre – Parede interna da Poli-USP – Modelo no Autodesk Revit, baseado na nuvem de pontos gerada no Agisoft Metashape.



Fonte: a autora. As imagens acima são vistas e planta do modelo e da nuvem de pontos. Imagem 1 superior à esquerda é a vista frontal do modelo e da nuvem mesclados. Imagem 2 superior direita é a vista frontal apenas do modelo. Imagem 3 intermediária à esquerda é a vista oblíqua do modelo e da nuvem mesclados. A imagem 4 intermediária à direita é a vista oblíqua apenas do modelo. A imagem



5 inferior é a planta do modelo e vista da nuvem mesclados. Algumas distorções detectadas conforme destacado em amarelo.

## B. Fotogrametria terrestre com Câmera 360°

Sobre a ferramenta, os testes foram feitos com a câmera Insta360 One X, conforme a Figura 97. O equipamento possui duas câmeras (frente e verso) de meia esfera e custa R\$ 3.500,00 aproximadamente (2020).

Figura 97 - Câmera 360°, modelo Insta360 One X



Fonte: Ver nota<sup>18</sup>. Insta360.

Foram usadas 2 ferramentas de processamento:

- 1) Matterport: o processamento feito foi através do celular, durante as capturas de fotos em campo. Posteriormente, é possível fazer a visualização na plataforma (celular e web). O Matterport gera um modelo não exportável na versão gratuita da ferramenta, e gera uma experiência de “tour virtual”, onde é possível ver cada foto 360° capturada em campo.
- 2) Agisoft Metashape e Autodesk Revit: geração de nuvem de pontos e posterior modelagem de elementos básicos.

---

<sup>18</sup> Insta360. Disponível em: [insta360.com/es/product/insta360-onex/](https://www.insta360.com/es/product/insta360-onex/). Acesso em 13 de setembro de 2020.

É recomendável seguir orientações similares às aquelas descritas na fotogrametria terrestre com câmera DSLR, sendo as diferenças relevantes as seguintes:

- a) o fato de que é necessário o uso de tripé, com o objetivo de manter a planicidade da captura da foto e também evitar que o fotógrafo saia na foto;
- b) desejável que o fotógrafo tome sempre que possível as fotos remotamente, tentando não aparecer na captura. Isso é possível através do uso de aplicativos que realizam o disparo da foto através de wi-fi ou bluetooth;
- c) ter cuidado ao capturar imagens em espaços com muita diferença de iluminação (exemplo: no caso de haver uma janela, possivelmente a primeira lente capturará fachada muito clara e a segunda lente capturará outra fachada mais escura), tentando evitar posicionar a câmera em locais com muito contraste.
- d) mascarar dados indesejados da foto, tais como o tripé. A câmera 360° acaba capturando dados bastante abrangentes do ambiente, incluindo o próprio tripé usado na tomada fotográfica, por isso, é interessante retirar estes dados dentro do programa de fotogrametria, através da ferramenta de máscara. A vantagem é que a mesma máscara poderá ser usada em diversas fotos sequenciais, caso a posição da câmera e tripé não tenha sido alterada durante a tomada em campo.

Conforme descrito no Quadro 25, foram realizados 3 testes com capturas de fotos com câmera 360°, para posterior uso de técnicas de fotogrametria.

Quadro 25 – Fotogrametria com Câmera 360° – resumo dos testes de acordo com os ambientes, objetos e tipo de câmera utilizada, com numeração dos testes (estudos de caso).

Nº do caso	AMBIENTE	OBJETO	CÂMERA
14	3. SP - Prédio - ambiente interno	Porta, janela, parede (sala)	Sim - câmera 360 (INSTA 360 One X)
15	6. EP CIVIL - Prédio - ambiente interno	Paredes, pisos, teto (2 salas internas)	Sim - câmera 360 (INSTA 360 One X)
16	6. EP CIVIL - Prédio - ambiente externo	Fachada	Sim - câmera 360 (INSTA 360 One X)

Fonte: a autora.

### i. Caso 14: Sala de apartamento – cidade de São Paulo

Ver Quadro 26 sobre o caso 14, com dados sobre captura, processamento, modelagens, análise dos resultados.

Quadro 26 – Fotogrametria com câmera 360° – Dados sobre o caso 14 – Sala residencial em SP.

<b>Caso nº 14: Sala residencial em SP</b>	
Método de captura	Câmera Insta360 One X
Objeto	Paredes, pisos, janelas, portas de uma sala.
Objetivo da captura	Capturar dados da área interna.
Tempo da tomada fotográfica em campo	1 minuto no caso do Matterport - Ver Figura 98 e Figura 99. 17 minutos no caso do Agisoft Metashape e Autodesk Revit - Ver Figura 100.
Quantidade de capturas	2 fotos no caso do Matterport. 34 fotos no caso do Agisoft Metashape e Autodesk Revit.
Condição de iluminação	Dia claro, sem nuvens. Iluminação direta e indireta.
Condições de captura (sobreposições)	Nos dois casos, houve sobreposições dos dados, sobretudo no caso do Metashape/Revit, que contou com mais capturas.
Condições de captura (áreas e planos)	Condições de acesso desimpedidas. As fotos foram tiradas sequencialmente, mantendo a posição das lentes paralelas às paredes principais do eixo longitudinal do espaço.
Condições de estabilidade (tripé)	Houve uso de tripé.
Uso de marcadores ou referências	No caso do Matterport, não houve uso de marcadores ou referências. Já no outro caso, houve adição de 24 marcadores em campo, assinalados no processamento da fotogrametria no Agisoft Metashape.

Caso nº 14: Sala residencial em SP	
Condições do objeto (superfícies, irregularidades, contrastes, cores etc)	Superfícies diversas. Algumas continham alto contraste (móveis, tecidos etc), outras tinham pouco contraste (pintura de parede branca, por exemplo).
Tamanho e resolução	5,5 MB por foto, na média; 6080 pixels de largura por 3040 pixels de altura
Abertura do diafragma	f/2
Tempo de exposição	1/124 s na média
ISO	100
Distância focal	35mm
Método e/ou Programa de processamento de dados capturados para nuvem de pontos	Matterport; e Fotogrametria DSM no Agisoft Metashape (houve correlação automática de pontos homólogos, uso da ferramenta de máscara para excluir dados indesejados do tripé e também inserção manual de algumas referências, que são chamados de “markers” no programa).
Tempo de processamento para nuvem de pontos	No caso do Matterport, não foi gerada nuvem de pontos, mas sim um modelo virtual texturizado; e 50 minutos no Agisoft Metashape, para gerar todos os resultados abaixo.
Resultados e visualização dos dados processados para nuvem de pontos	No caso do Metashape, a ordem de processamento foi: primeiro, nuvem de pontos, depois nuvem densa, malha TIN e por último malha TIN texturizada gerados no Agisoft Metashape. Ver Figura 101 e Figura 102.
Avaliação dos resultados do processamento para nuvem de pontos (materialidade e dimensões)	Os planos dos sistemas construtivos principais (paredes, pisos, portas e janelas) conseguiram ter boa representação. Em termos dimensionais, os desvios das arestas principais destes planos (distâncias entre paredes e pé-direito) foram de 2 a 4 cm, aproximadamente. Já os elementos de

Caso nº 14: Sala residencial em SP	
	<p>mobiliário e decoração tiveram bastante distorção.</p>
Limitações e problemas da captura e processamento	<p>A iluminação direta próxima à janela gerou fotos com bastante contraste (lente da frente com imagem muito clara e lente de trás com imagem mais escura). Contudo, não foi possível observar prejuízos relacionados a isto.</p>
Modelagem BIM com base na nuvem de pontos	<p>Foi possível fazer um modelo no Autodesk Revit, representando elementos principais, como paredes, piso, portas e janelas, com base na nuvem de pontos gerada pelo Agisoft Metashape. A nuvem foi escalada em um dos eixos para posterior desenvolvimento do modelo. Ver Figura 103 e Figura 104.</p>
Tempo de modelagem BIM	40 minutos.
Resultados e limitações da modelagem BIM	<p>Considerando o tamanho do espaço e o tempo usado para capturar e processar os dados, bem como o fato de que foi possível modelar os principais elementos construtivos do ambiente com desvios dimensionais relativamente baixos, entende-se que o resultado foi positivo. Contudo, como limitação, coloca-se o fato de que os elementos menores (móveis e decorações) não puderam ser modelados.</p>

Figura 98 – Fotogrametria com câmera 360° – Sala de apartamento em SP – Foto 360° visualizada na plataforma Matterport.



Fonte: a autora.

Figura 99 – Fotogrametria com câmera 360° – Sala de apartamento em SP – Modelo e medições de dimensões na plataforma Matterport.



Imagem 1



Imagem 2

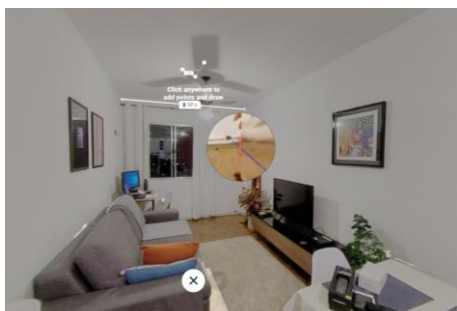


Imagem 3

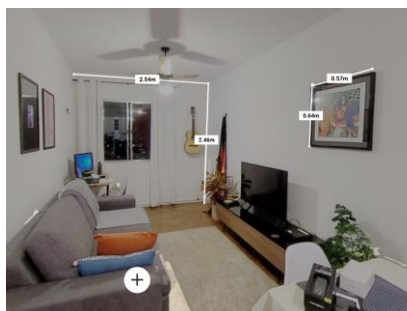


Imagem 4

Fonte: a autora. Imagem 1 contém o modelo. Imagem 2 contém o modelo, em que os 2 pontos de captura fotográfica estão demarcados com setas amarelas. Imagem 3 é a foto 360° visualizada com a lupa para selecionar pontos para dimensionamento métrico. Imagem 4 é a foto 360° com dimensionamentos feitos em algumas retas do modelo.

Figura 100 – Fotogrametria com câmera 360° – Sala de apartamento em SP – Amostra de fotos capturadas em campo para processamento no Agisoft Metashape e modelagem no Autodesk Revit.







Fonte: a autora.

Figura 101 – Fotogrametria com câmera 360° – Sala de apartamento em SP – Vista do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.

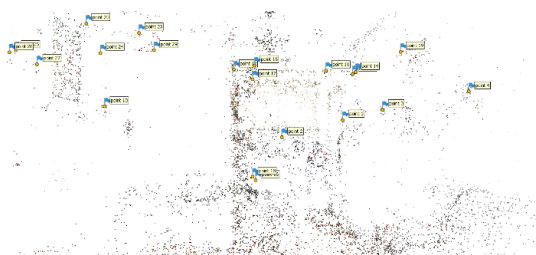


Imagem 1



Imagem 2

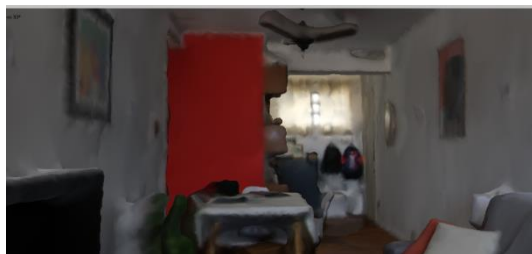


Imagem 3



Imagem 4

Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é a nuvem de pontos, com os marcadores. Imagem 2 superior direita é a nuvem de pontos densa. Imagem 3 inferior esquerda é malha TIN. Imagem 4 inferior direita é malha TIN texturizada.

Figura 102 – Fotogrametria com câmera 360° – Sala de apartamento em SP – Vista do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.



Imagem 1



Imagem 2

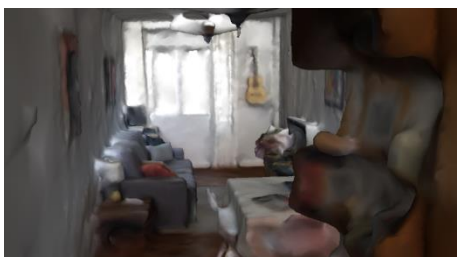


Imagem 3

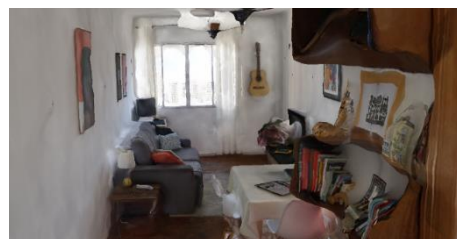


Imagem 4

Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é a nuvem de pontos, com os marcadores. Imagem 2 superior direita é a nuvem de pontos densa. Imagem 3 inferior esquerda é malha TIN. Imagem 4 inferior direita é malha TIN texturizada.

Figura 103 – Fotogrametria com câmera 360° – Sala de apartamento em SP – Vistas do modelo BIM simplificado, feito no Autodesk Revit, com base na nuvem de pontos gerada na fotogrametria executada no Agisoft Metashape.



Imagem 1

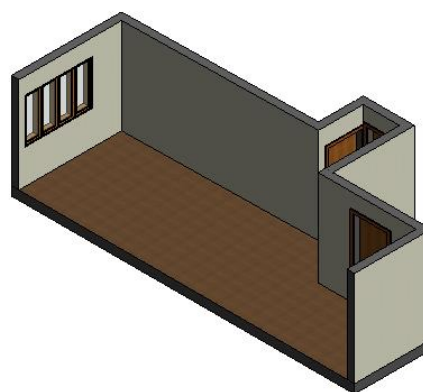


Imagem 2





Imagem 3

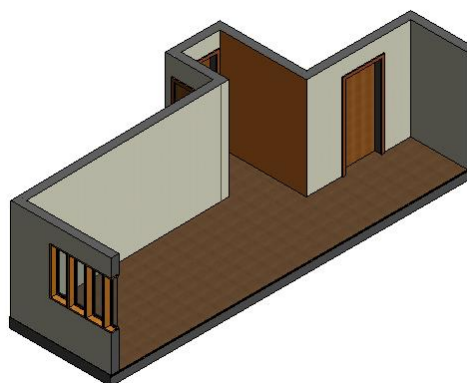


Imagem 4

Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é a vista do modelo mesclado com a nuvem de pontos. Imagem 2 superior direita é a vista do modelo apenas. Imagem 3 inferior esquerda é a vista do modelo mesclado com a nuvem de pontos. Imagem 4 inferior direita é a vista do modelo apenas.

Figura 104 – Fotogrametria com câmera 360° – Sala de apartamento em SP – Vistas do modelo BIM simplificado, feito no Autodesk Revit, com base na nuvem de pontos gerada na fotogrametria executada no Agisoft Metashape.



Imagem 1



Imagem 2



Imagem 3



Imagem 4

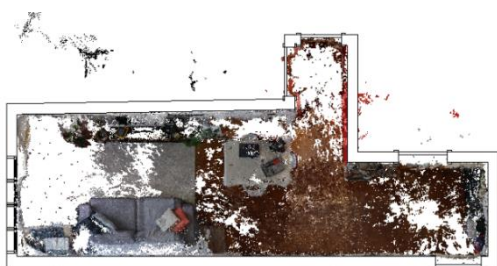


Imagem 5

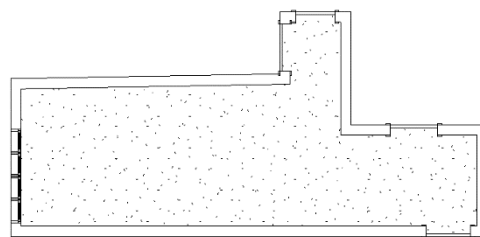


Imagem 6

Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é o corte longitudinal do modelo mesclado com a nuvem de pontos. Imagem 2 superior direita é o corte longitudinal do modelo apenas. Imagem 3 esquerda é o corte transversal do modelo mesclado com a nuvem. Imagem 4 direita é o corte longitudinal do modelo apenas. Imagem 5 é a planta do modelo mesclada com a nuvem. Imagem 6 é a planta do modelo.

## ii. Caso 15: Salas de aula da Eng. Civil da USP

Ver Quadro 27 sobre o caso 15, com dados sobre captura, processamento, modelagens, análise dos resultados.

Quadro 27 – Fotogrametria com câmera 360° – Dados sobre o caso 15 – Salas de aula da Eng. Civil da USP

Caso nº 15: Salas de aula da Eng. Civil da USP	
Método de captura	Câmera Insta360 One X
Objeto	Paredes, pisos, janelas, portas de 2 salas de aula e corredor entre salas.
Objetivo da captura	Capturar dados das áreas internas.
Tempo da tomada fotográfica em campo	10 minutos – Ver Figura 105.
Quantidade de capturas	38 fotos – Ver Figura 105.
Condição de iluminação	Dia claro, sem nuvens. Iluminação direta e indireta do sol. Iluminação artificial.
Condições de captura (sobreposições)	Houve sobreposições dos dados.
Condições de captura (áreas e planos)	Condições de acesso desimpedidas. As fotos foram tiradas sequencialmente, mantendo a posição das lentes paralelas às

Caso nº 15: Salas de aula da Eng. Civil da USP	
	paredes principais do eixo longitudinal do espaço.
Condições de estabilidade (tripé)	Houve uso de tripé.
Uso de marcadores ou referências	Houve adição de 47 marcadores em campo, assinalados no processamento da fotogrametria no Agisoft Metashape.
Condições do objeto (superfícies, irregularidades, contrastes, cores etc)	Superfícies diversas. Algumas continham alto contraste (esquadrias com metal e fechamento vinho), outras tinham pouco contraste (pintura de parede branca, por exemplo).
Tamanho e resolução	6,5 MB por foto, na média; 6080 pixels de largura por 3040 pixels de altura
Abertura do diafragma	f/2
Tempo de exposição	1/60 s na média
ISO	110 na média
Distância focal	35mm
Método e/ou Programa de processamento de dados capturados para nuvem de pontos	Fotogrametria DSM no Agisoft Metashape (houve correlação automática de pontos homólogos, uso da ferramenta de máscara para excluir dados indesejados do tripé e também inserção manual de algumas referências, que são chamados de “markers” no programa).
Tempo de processamento para nuvem de pontos	1h20 minutos no Agisoft Metashape, para gerar todos os resultados abaixo.
Resultados e visualização dos dados processados para nuvem de pontos	A ordem de processamento foi: primeiro, nuvem de pontos, depois nuvem densa, malha TIN e por último malha TIN texturizada gerados no Agisoft Metashape. Ver Figura 106 e Figura 107.
Avaliação dos resultados do processamento para nuvem de pontos (materialidade e dimensões)	Os planos dos sistemas construtivos principais (paredes, pisos, portas e janelas) conseguiram ter boa representação. Em termos dimensionais, os desvios das arestas

Caso nº 15: Salas de aula da Eng. Civil da USP	
	principais destes planos (distâncias entre paredes e pé-direito) foram de 2 a 4 cm, aproximadamente. Em termos de qualidade da representação da materialidade, as áreas gerais ficaram bem representadas, contudo áreas muito homogêneas (paredes brancas, por exemplo) tiveram baixa qualidade. Ver Figura 106, Figura 107 e Figura 108.
Limitações e problemas da captura e processamento	Elementos homogêneos, mesmo com marcadores (“markers”), tiveram mais desvios de qualidade na representação.
Modelagem BIM com base na nuvem de pontos	Foi possível fazer um modelo no Autodesk Revit, representando elementos principais, como paredes, piso, portas e janelas, com base na nuvem de pontos gerada pelo Agisoft Metashape. A nuvem foi escalada em um dos eixos para posterior desenvolvimento do modelo. Ver Figura 109.
Tempo de modelagem BIM	30 minutos.
Resultados e limitações da modelagem BIM	Considerando o tamanho do espaço e o tempo usado para capturar e processar os dados, bem como o fato de que foi possível modelar os principais elementos construtivos do ambiente com desvios dimensionais relativamente baixos, entende-se que o resultado foi positivo.

Figura 105 – Fotogrametria com câmera 360° – Salas de aula da Eng. Civil da USP – Amostra de fotos capturadas em campo para processamento no Agisoft Metashape e modelagem no Autodesk Revit.





Fonte: a autora.

Figura 106 – Fotogrametria com câmera 360° – Salas de aula da Eng. Civil da USP – Vista do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.

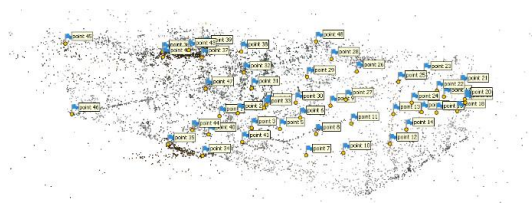


Imagem 1



Imagem 2

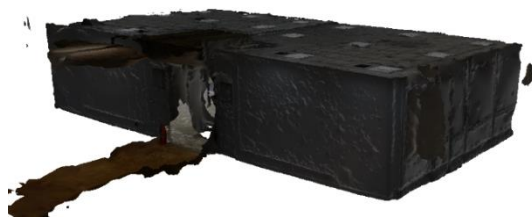


Imagem 3



Imagem 4

Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é a nuvem de pontos, com os marcadores. Imagem 2 superior direita é a nuvem de pontos densa. Imagem 3 inferior esquerda é malha TIN. Imagem 4 inferior direita é malha TIN texturizada.

Figura 107 – Fotogrametria com câmera 360° – Salas de aula da Eng. Civil da USP – Vista do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.



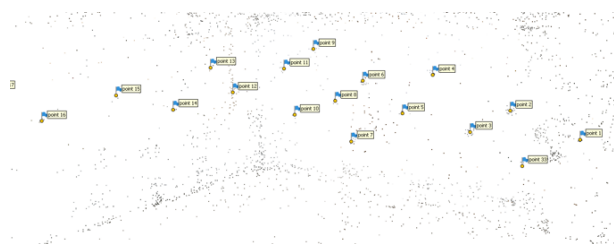


Imagem 1



Imagem 2



Imagem 3

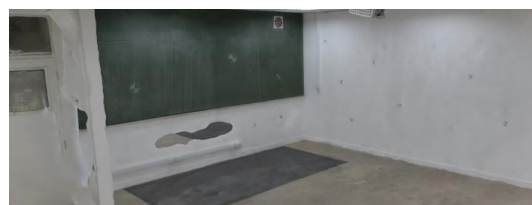
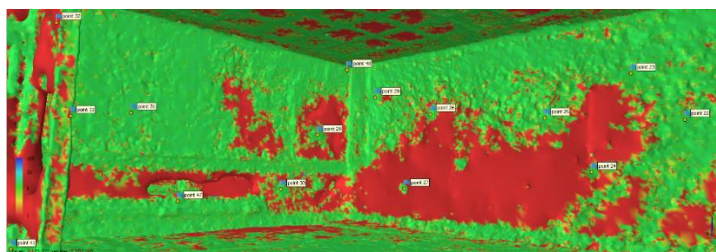


Imagem 4

Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é a nuvem de pontos, com os marcadores. Imagem 2 superior direita é a nuvem de pontos densa. Imagem 3 inferior esquerda é malha TIN. Imagem 4 inferior direita é malha TIN texturizada.

Figura 108 – Fotogrametria com câmera 360° – Salas de aula da Eng. Civil da USP – Vista do modelo de confiabilidade gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.



Fonte: a autora. Pontos em verde possuem maior confiabilidade e pontos em vermelho possuem menor confiabilidade. Analisa-se que elementos homogêneos, tais como paredes brancas, tiveram menor qualidade da representação.

Figura 109 – Fotogrametria com câmera 360° – Salas de aula da Eng. Civil da USP – Vistas do modelo BIM simplificado, feito no Autodesk Revit, com base na nuvem de pontos gerada na fotogrametria executada no Agisoft Metashape.

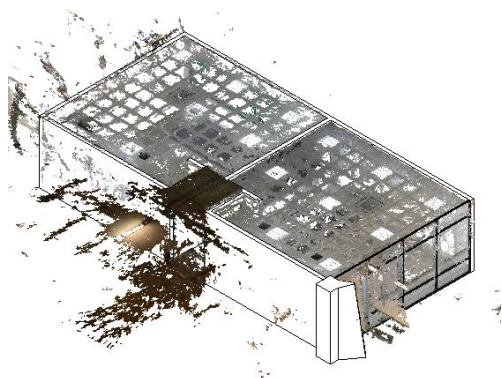


Imagem 1

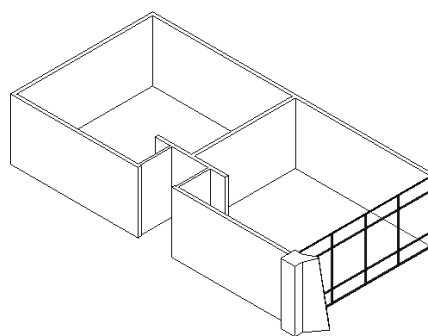


Imagem 2



Imagem 3

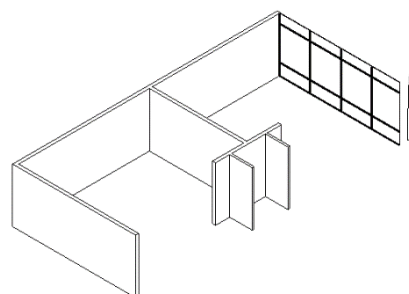


Imagem 4

Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é a vista do modelo mesclado com a nuvem de pontos. Imagem 2 superior direita é a vista do modelo apenas. Imagem 3 inferior esquerda é a vista seccionada do modelo mesclado com a nuvem de pontos. Imagem 4 inferior direita é a vista seccionada do modelo.

### iii. Caso 16: Fachada externa de sala de aula da Eng. Civil da USP

Ver Quadro 28 sobre o caso 16, com dados sobre captura, processamento, modelagens, análise dos resultados.

Quadro 28 – Fotogrametria com câmera 360° – Dados sobre o caso 16 – Fachada externa de sala de aula da Eng. Civil da USP

#### Caso nº 16: Fachada externa de sala de aula da Eng. Civil da USP

Método de captura

Câmera Insta360 One X

Objeto

Caixilharia da fachada externa de uma sala de aula, pilar e piso externo.

<b>Caso nº 16: Fachada externa de sala de aula da Eng. Civil da USP</b>	
Objetivo da captura	Capturar dados da área externa.
Tempo da tomada fotográfica em campo	5 minutos – Ver Figura 110.
Quantidade de capturas	12 fotos – Ver Figura 110.
Condição de iluminação	Dia claro, sem nuvens. Iluminação direta e indireta do sol.
Condições de captura (sobreposições)	Houve sobreposições dos dados.
Condições de captura (áreas e planos)	Condições de acesso desimpedidas. As fotos foram tiradas sequencialmente, mantendo a posição das lentes paralelas às paredes principais do eixo longitudinal do espaço.
Condições de estabilidade (tripé)	Houve uso de tripé.
Uso de marcadores ou referências	Houve adição de 5 marcadores em campo, assinalados no processamento da fotogrametria no Agisoft Metashape.
Condições do objeto (superfícies, irregularidades, contrastes, cores etc)	Superfícies diversas. Algumas continham alto contraste (esquadrias com metal e fechamento vinho, pisos, pilar), outras tinham pouco contraste (vidro translúcido).
Tamanho e resolução	8,5 MB por foto, na média; 6080 pixels de largura por 3040 pixels de altura
Abertura do diafragma	f/2
Tempo de exposição	1/150 s na média
ISO	100 na média
Distância focal	35mm
Método e/ou Programa de processamento de dados capturados para nuvem de pontos	Fotogrametria DSM no Agisoft Metashape (houve correlação automática de pontos homólogos, uso da ferramenta de máscara para excluir dados indesejados do tripé e também inserção manual de algumas referências, que são chamados de “markers” no programa).
Tempo de processamento para nuvem de pontos	30 minutos no Agisoft Metashape, para gerar todos os resultados abaixo.



Caso nº 16: Fachada externa de sala de aula da Eng. Civil da USP	
Resultados e visualização dos dados processados para nuvem de pontos	A ordem de processamento foi: primeiro, nuvem de pontos, depois nuvem densa, malha TIN e por último malha TIN texturizada gerados no Agisoft Metashape. Ver Figura 111 e Figura 112.
Avaliação dos resultados do processamento para nuvem de pontos (materialidade e dimensões)	Os planos dos sistemas construtivos principais (caixilhos, pisos, pilar) conseguiram ter boa representação. Em termos de qualidade da representação da materialidade, as áreas gerais ficaram bem representadas, contudo áreas translúcidas (vidros das caixilharias) tiveram baixa qualidade. Em termos dimensionais, os desvios foram grandes, na ordem de 5 a 10 cm nos eixos x e z, aproximadamente. Provavelmente os desvios ocorreram devido ao baixo número de fotos e de marcadores (“markers”) colocados em campo. Ver Figura 111 e Figura 112.
Limitações e problemas da captura e processamento	Áreas translúcidas (vidros das caixilharias) tiveram baixa qualidade de representação.
Modelagem BIM com base na nuvem de pontos	Foi possível fazer um modelo no Autodesk Revit, representando elementos principais, como caixilhos, pilar e piso externo, com base na nuvem de pontos gerada pelo Agisoft Metashape. A nuvem foi escalada em um dos eixos para posterior desenvolvimento do modelo. Ver Figura 113.
Tempo de modelagem BIM	20 minutos.
Resultados e limitações da modelagem BIM	Considerando o tempo usado para capturar e processar os dados, bem como o fato de que foi possível modelar os principais elementos construtivos da fachada externa, contudo sabendo que os desvios dimensionais identificados foram

### Caso nº 16: Fachada externa de sala de aula da Eng. Civil da USP

relativamente altos, entende-se que o resultado poderia ser melhor, através de cuidados extras com a captura de fotos (maior volume de fotografias e maior uso de marcadores em campo).

Figura 110 – Fotogrametria com câmera 360° – Área externa da sala de aula da Eng. Civil da USP – Amostra de fotos capturadas em campo para processamento no Agisoft Metashape e modelagem no Autodesk Revit.



Fonte: a autora.

Figura 111 – Fotogrametria com câmera 360° – Área externa da sala de aula da Eng. Civil da USP – Vista do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.

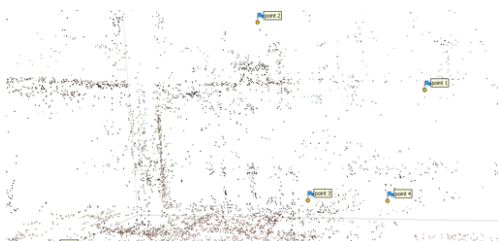


Imagem 1



Imagem 2



Imagem 3



Imagem 4

Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é a nuvem de pontos, com os marcadores. Imagem 2 superior direita é a nuvem de pontos densa. Imagem 3 inferior esquerda é malha TIN. Imagem 4 inferior direita é malha TIN texturizada.

Figura 112 – Fotogrametria com câmera 360° – Área externa da sala de aula da Eng. Civil da USP – Vista do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.

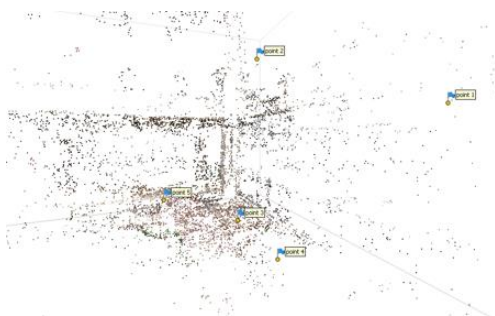


Imagem 1



Imagem 2



Imagem 3



Imagem 4

Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é a nuvem de pontos, com os marcadores. Imagem 2 superior direita é a nuvem de pontos densa. Imagem 3 inferior esquerda é malha TIN. Imagem 4 inferior direita é malha TIN texturizada.

Figura 113 – Fotogrametria com câmera 360° – Área externa da sala de aula da Eng. Civil da USP – Vistas do modelo BIM simplificado, feito no Autodesk Revit, com base na nuvem de pontos gerada na fotogrametria executada no Agisoft Metashape.





Imagem 1

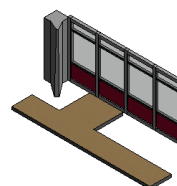


Imagem 2



Imagem 3

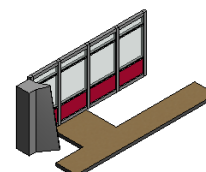


Imagem 4

Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é a vista do modelo mesclado com a nuvem de pontos. Imagem 2 superior direita é a vista do modelo apenas. Imagem 3 inferior esquerda é a vista do modelo mesclado com a nuvem de pontos. Imagem 4 inferior direita é a vista do modelo.

### C. Fotogrametria aérea com câmera embarcada em VANT

Sobre a ferramenta, o teste foi realizado com um VANT (veículo aéreo não tripulado), popularmente conhecido como drone, e foi desempenhado no âmbito do curso ministrado pelo pesquisador Júlio César Franco Júnior intitulado “Oficina de fotogrametria e Drones na Arquitetura: plano e prática”, do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, na cidade de São Carlos, em 2019. O equipamento (Figura 114) foi manipulado e controlado pelo pesquisador, devido às regras existentes de segurança de voo. O equipamento custa entre R\$5.000,00 e R\$10.000,00, a depender da versão do modelo.

Figura 114 - VANT modelo DJI Mavic Pro



Fonte: Ver nota<sup>19</sup>. DJI.

O aplicativo de celular Pix4D Capture foi usado para determinar a trajetória de voo, altura, velocidade, configurações de sobreposição de imagens e inclinação da câmera. O programa é gratuito.

A seguir serão dados detalhes do estudo feito em campo.

É recomendável seguir orientações similares àquelas descritas na fotogrametria terrestre com câmera DSLR, sendo as diferenças relevantes as seguintes:

- a) atentar-se às regras de segurança, bem como regulamentações, normas e códigos aplicáveis à atividade de mapeamento de imagens com VANT. Para usar um equipamento deste tipo, para o fim descrito nesta pesquisa (levantamento fotogramétrico), autorizações da Agência Nacional de Aviação (ANAC) podem ser necessárias. Uma variável a ser estudada é o tamanho do equipamento e a existência de certificação adequada do VANT perante a ANAC. O piloto deve ser cadastrado e autorizado pelo órgão. Além disso, outra questão a ser observada é o local do trabalho a ser feito com o VANT, visto que algumas regiões possuem restrições de voo e que diferentes institutos podem também ter regulamentos e protocolos específicos à fim de garantir a segurança da operação nos espaços controlados sob sua gestão. Também é importante que o operador do VANT seja habilitado, conhecendo as formas de controle do equipamento. Aplicam-se cuidados com as distâncias mínimas da trajetória do voo em relação a prédios e pessoas. Um seguro contra terceiros é recomendável, cobrindo riscos associados à prática de voo. Também são consideradas limites de altura da operação, de forma que o VANT não represente riscos a outros veículos aéreos. Portanto, em resumo, o uso de equipamentos deste tipo é altamente especializado, por isso executar voos com

---

<sup>19</sup> DJI - Disponível em: <https://www.dji.com/br/mavic>. Acesso em 13 de setembro de 2020.

pessoas treinadas e que sigam as regras aplicáveis é um fator crucial na prática da fotogrametria aérea.

- b) um plano de voo e de captura é necessário, e ele pode ser automatizado através de sistemas, tais como aplicativos de celular (como o Pix4D Capture) que se comunicam com o VANT. Desta forma, é possível controlar a quantidade de fotos, bem como a trajetória, velocidade, altura e a angulação (inclinação) das capturas.
- c) a autonomia da bateria do VANT deve ser observada, de forma que os minutos de voo sejam compatíveis com a trajetória e tempo traçados no plano de voo. Ter várias baterias reserva durante capturas em campo pode ser desejável.
- d) pontos de controle podem ser usados como referência: pontos de referência, conhecidos no ambiente existente, ou coordenadas de alvo controlados via GPS e protocolos de comunicação georreferenciadas.

Conforme mostrado no Quadro 29, foi realizado um teste com captura de fotos em VANT, para posterior uso de técnicas de fotogrametria.

Quadro 29 – Fotogrametria aérea com Câmera embarcada em VANT – resumo do teste de acordo com o ambiente, objeto e tipo de câmera utilizada, com numeração do teste (estudo de caso).

Nº do caso	AMBIENTE	OBJETO	CÂMERA
17	1. USP SÃO CARLOS - Prédio - ambiente externo	Cobertura, volumetria do edifício	Sim - VANT DJI Mavic Pro

Fonte: a autora.

#### **i. Caso 17: Cobertura e volumetria do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – cidade de São Carlos**

Ver Quadro 30 sobre o caso 17, com dados sobre captura, processamento, modelagens, análise dos resultados.

Quadro 30 – Fotogrametria aérea – Dados sobre o caso 17 – Cobertura e volumetria do IAU São Carlos.

<b>Caso nº 17: Cobertura e volumetria do IAU São Carlos</b>	
Método de captura	Câmera embarcada em VANT
Objeto	Cobertura e volumetria de edifício educacional.
Objetivo da captura	Capturar dados da cobertura e volume geral do edifício (envoltória).
Tempo da tomada fotográfica em campo	11 minutos.
Quantidade de capturas	136 fotos. Mostra-se uma amostra das fotos capturadas na Figura 115 e os pontos de captura na Figura 116.
Condição de iluminação	Dia claro, sem nuvens.
Condições de captura (sobreposições)	Houve sobreposições dos dados. Foram tiradas fotos paralelas à cobertura e oblíquas às fachadas da envoltória do edifício. As capturas foram automatizadas no programa Pix4D Capture.
Condições de captura (áreas e planos)	Condições livres. Algumas vegetações existentes no entorno do edifício geraram algumas barreiras visuais para parte das envoltórias (fachadas).
Condições de estabilidade (tripé)	Não houve uso de tripé.
Uso de marcadores ou referências	Não houve adição de marcadores em campo, apenas uso de referência já existente na geometria (1 ponto), assinalada no processamento da fotogrametria no Agisoft Metashape. Ver Figura 116.
Condições do objeto (superfícies, irregularidades, contrastes, cores etc)	Superfícies possuem alto contraste (materiais e cores). Contudo, devido à existência de muitas árvores e vegetações, há algumas sombras e uma alta complexidade de dados, dificultando o processamento no Agisoft Metashape de identificação dos pontos homólogos nessas regiões.
Tamanho e resolução	5,8 MB por foto, na média; 4000 pixels de largura por 3000 pixels de altura

<b>Caso nº 17: Cobertura e volumetria do IAU São Carlos</b>	
Abertura do diafragma	f/2.2 na média
Tempo de exposição	1/4115 s na média
ISO	100
Distância focal	5mm
Método e/ou Programa de processamento de dados capturados para nuvem de pontos	Fotogrametria DSM no Agisoft Metashape (houve correlação automática de pontos homólogos).
Tempo de processamento para nuvem de pontos	20 minutos no Agisoft Metashape, para gerar todos os resultados abaixo.
Resultados e visualização dos dados processados para nuvem de pontos	Na ordem de processamento, primeiro nuvem, depois nuvem densa, malha TIN e por último malha TIN texturizada gerados no Agisoft Metashape. Ver Figura 116 Figura 117, Figura 118 e Figura 119.
Avaliação dos resultados do processamento para nuvem de pontos (materialidade e dimensões)	Apesar da nuvem de pontos gerada ter alguns problemas relacionados à vegetação existente na envoltória do edifício, foi possível obter uma nuvem com qualidade suficiente para modelagem de massa BIM, em termos de dados de cobertura e volumetria da edificação. Em termos dimensionais, não foram feitas em campo medições para comparação com geometria obtida na nuvem de pontos.
Limitações e problemas da captura e processamento	Locais próximos às copas de árvores, tais como fachadas envoltórias da edificação, não foram bem representados na nuvem de pontos. Ver Figura 117.
Modelagem BIM com base na nuvem de pontos	Foi possível fazer um modelo no Autodesk Revit, representando uma massa volumétrica da edificação como um todo, com base na nuvem de pontos gerada pelo Agisoft Metashape. Ver Figura 120.
Tempo de modelagem BIM	15 minutos.



### Caso nº 17: Cobertura e volumetria do IAU São Carlos

#### Resultados e limitações da modelagem BIM

A cobertura foi bem representada, contudo as fachadas possuem poucos dados na nuvem de pontos, portanto, a modelagem se limitou apenas à representação do volume do edifício, não possuindo dados detalhados de elementos construtivos (parapeitos, janelas, portas, lajes etc).

Figura 115 – Fotogrametria aérea – Cobertura do IAU São Carlos – Amostra de fotos capturadas em campo para processamento no Agisoft Metashape.



Fonte: dados cedidos pelo IAU-USP.

Figura 116 – Fotogrametria aérea – Cobertura do IAU São Carlos – Modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape – planos azuis na parte de cima da imagem representam os pontos de captura de foto aérea



Fonte: a autora.

Figura 117 – Fotogrametria aérea – Cobertura do IAU São Carlos – Nuvem de pontos gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.

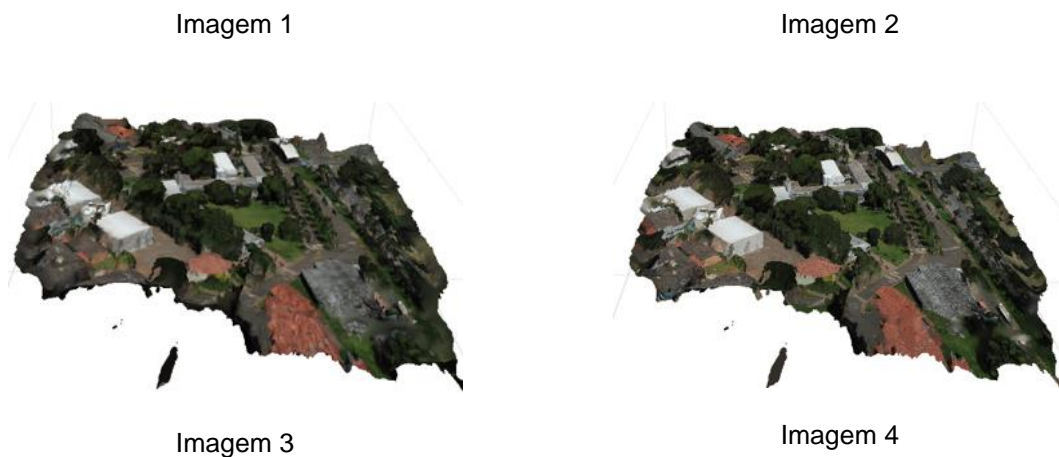


Fonte: a autora. Seta em amarelo destaca superfícies com distorções, devido a falta de dados (áreas não fotografadas).

Figura 118 – Fotogrametria aérea – Cobertura do IAU São Carlos – Vista do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.

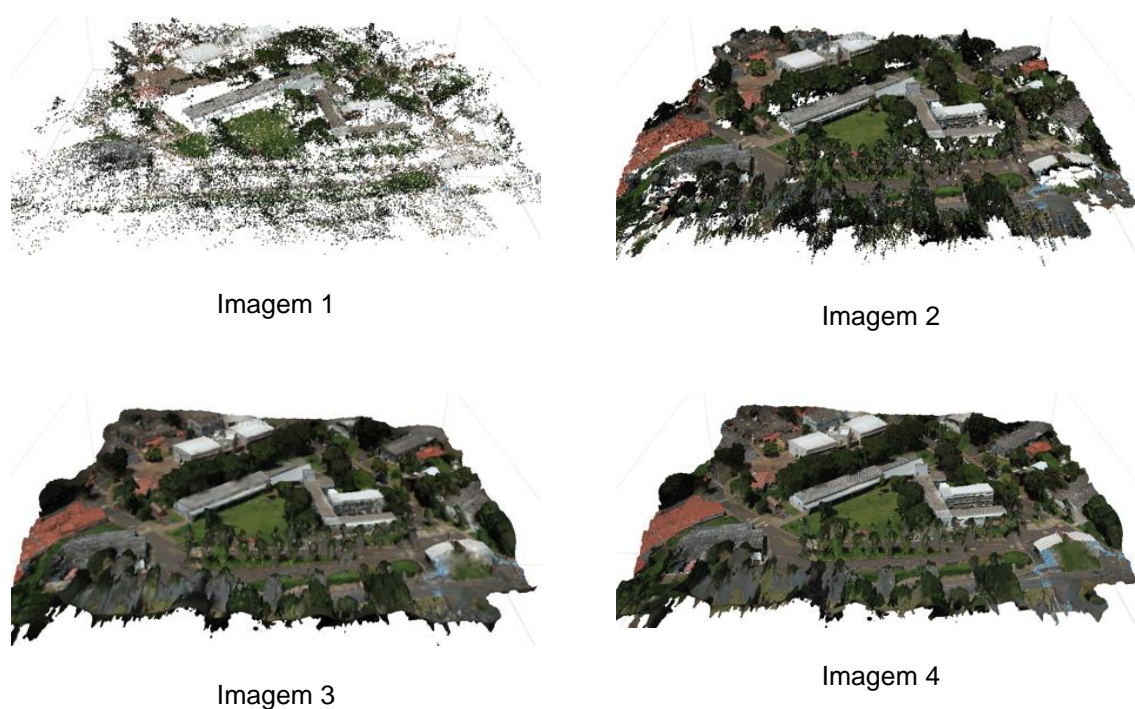






Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é a nuvem de pontos. Imagem 2 superior direita é a nuvem de pontos densa. Imagem 3 inferior esquerda é malha TIN. Imagem 4 inferior direita é malha TIN texturizada.

Figura 119 – Fotogrametria aérea – Cobertura do IAU São Carlos – Vista do modelo gerado após processamento de fotogrametria pela ferramenta Agisoft Metashape.



Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é a nuvem de pontos. Imagem 2 superior direita é a nuvem de pontos densa. Imagem 3 inferior esquerda é malha TIN. Imagem 4 inferior direita é malha TIN texturizada.

Figura 120 – Fotogrametria aérea – Cobertura do IAU São Carlos – Vistas do modelo de massa BIM, feito no Autodesk Revit, com base na nuvem de pontos gerada na fotogrametria executada no Agisoft Metashape.



Imagem 1

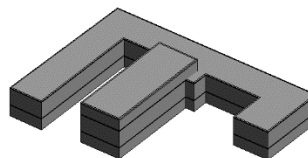


Imagem 2



Imagem 3

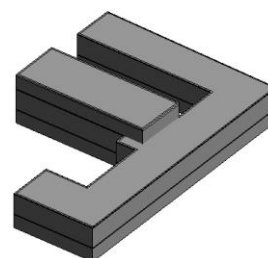


Imagem 4

Fonte: a autora. Imagem 1 superior esquerda é a vista do modelo mesclado com a nuvem de pontos. Imagem 2 superior direita é a vista do modelo apenas. Imagem 3 inferior esquerda é a vista do modelo mesclado com a nuvem de pontos. Imagem 4 inferior direita é a vista do modelo.

#### D. Escâner a *laser* terrestre

Os testes foram feitos com três equipamentos de escâner a *laser* diferentes, especificados na Figura 121. O Quadro 31 compara os três equipamentos e suas especificações.

Figura 121 – Equipamentos de escâner a *laser* usados nos testes em campo.



Fonte: Faro<sup>20</sup>. Leica<sup>21</sup>. Trimble<sup>22</sup>.

Quadro 31 – Comparativo de especificações entre equipamentos de escâner a laser usados nos testes em campo.

	<b>Faro Focus S 350</b>	<b>Leica BLK360</b>	<b>Trimble TX8</b>
<b>Dimensões do equipamento</b>	230 x 183 x 103 mm.	165 mm de altura e 100 mm de diâmetro.	335 x 386 x 242 mm.
<b>Peso do equipamento</b>	4,2 kg.	1 kg.	10,7 kg.
<b>Preço</b>	R\$ 400.000,00 (equipamento, tripé, software), segundo pesquisa da autora diretamente com vendedor da Faro.	R\$ 100.000,00, convertido do dólar (equipamento, tripé, software por 1 ano), segundo site da Leica <sup>23</sup> .	R\$ 60.000, convertido do dólar (equipamento usado), segundo pesquisa da autora diretamente com vendedor online.
<b>Bateria</b>	4,5 horas.	2 horas (40 capturas, sendo cada captura 3 minutos).	2 horas.
<b>Temperatura de operação</b>	5 a 40 °C.	5 a 40 °C.	0 a 40 °C.

<sup>20</sup> Faro Focus. Disponível em: <https://www.faro.com/pt-br/produtos/construction-bim/faro-focus/features/>. Acesso em: 14 set. 2020.

<sup>21</sup> Leica BLK360. Disponível em: <https://leica-geosystems.com/pt-br/products/laser-scanners/scanners/blk360>. Acesso em: 14 set. 2020.

<sup>22</sup> Trimble TX8. Disponível em: <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-tx8>. Acesso em: 07 set. 2022.

<sup>23</sup> Leica. Leica BLK360. Disponível em: <https://shop.leica-geosystems.com/leica-blk/blk360-g1/product-details>. Acesso em: 07 ago. 2022.

	<b>Faro Focus S 350</b>	<b>Leica BLK360</b>	<b>Trimble TX8</b>
<b>Tripé</b>	Sim, necessário usar tripé, já incluso no kit do equipamento.	Sim, necessário usar tripé, já incluso no kit do equipamento.	Sim, necessário usar tripé.
<b>Software</b>	Sim, necessário usar o software Faro Scene para ler, registrar nuvem de pontos e exportar arquivo legível em outros programas.	Sim, acompanha o Leica Cyclone Register (software de computador) e o Cyclone Field (app de celular), para ler, registrar nuvem e exportar arquivo legível em outros programas. Contudo, uma vantagem é que os dados podem ser enviados e registrados diretamente no Autodesk Recap (Tablet iPad).	Sim, necessário usar o software Trimble RealWorks para ler, registrar nuvem de pontos e exportar arquivo legível em outros programas.
<b>Controle do equipamento</b>	Tela sensível ao toque.	Botão. Pode ser controlado também via Celular ou Tablet.	Tela sensível ao toque. Pode ser controlado também via Tablet e dispositivo móvel Trimble via WLAN ou Computador via cabo USB.
<b>Campo de visão</b>	360° na horizontal e 300° na vertical.	360° na horizontal e 300° na vertical.	360° na horizontal e 317° na vertical.
<b>Registro no local</b>	Sim, possibilita conexão sem fio para programa de computador Faro Scene.	Sim, possibilita conexão sem fio via celular ou Tablet.	Sim, possibilita conexão sem fio via dispositivo móvel Trimble ou Tablet, e também computador via cabo USB.
<b>Foto 360°</b>	Não informado.	Sim, acompanha captura de foto via câmera 360°.	Não informado.
<b>Câmera térmica</b>	Não informado.	Sim, tecnologia FLIR de onda longa infravermelha de	Não informado.

	<b>Faro Focus S 350</b>	<b>Leica BLK360</b>	<b>Trimble TX8</b>
		imagem térmica panorâmica, 360° x 70°.	
<b>Velocidade de medição</b>	Até 1 mil pontos por segundo.	Até 360 mil pontos por segundo.	1 milhão de pontos por segundo.
<b>Alcance conforme velocidade</b>	614 metros, para velocidade de medição de 0,5 mil pontos/segundo; 307 metros, para velocidade 1 mil pontos/segundo.	Não informado.	Não informado.
<b>Alcance conforme cor (refletividade)</b>	Para branco (refletividade de 90%), 0,6 a 350 metros; para cinza escuro (refletividade de 10%), 0,6 a 150 metros; para preto (refletividade de 2%), de 0,6 a 50 metros.	Para refletividade de 78%, de 0,6 a 60 metros.	Para refletividade de 18 a 90%, de 0,6 a 120 metros. Para refletividade de 5%, de 0,6 a 100 metros.
<b>Desvio padrão</b>	Para uma velocidade de 122 mil pontos por segundo, de 0,3 a 2 mm (variação conforme cor e distância, quanto maior a distância e mais escuro é o objeto, maior o desvio).	Não informado.	Não informado.
<b>Erro de alcance (erro sistemático de medição)</b>	±1 mm.	Não informado.	< 2mm.
<b>Precisão de posição em 3D</b>	Para 10 metros de distância, 2 mm; para 25 metros, 3,5 mm; para mais de 25 metros, adicionar + 0,1 mm por metro.	Para 10 metros de distância, 6 mm; Para 20 metros, 8 mm.	Não informado.
<b>Precisão de medição angular</b>	12 segundos de arco para ângulos verticais e horizontais	Não informado.	16,5 segundos de arco.

	Faro Focus S 350	Leica BLK360	Trimble TX8
Fonte (todos os dados, exceto preço)	Faro <sup>24</sup>	Leica <sup>25</sup>	Trimble <sup>26</sup>

Fonte: ver tabela, última linha.

Em parte dos casos, foram implementadas combinações das seguintes boas práticas de captura com escâner a *laser*:

- a) A captura em tripé ajuda na estabilização do equipamento. Por padrão, geralmente o escâner foi projetado para ser operado de forma fixa.
- b) Inicializar o equipamento conforme instruções do fornecedor. Por vezes, equipamentos de escâner exigem uma inicialização, que podem levar em média 1,5 minuto.
- c) Verificação de ajustes e configurações, tais como: local de armazenamento (cartão SD, por exemplo), nome do projeto, resolução (quantidade de pontos, velocidade etc), ângulos a capturar (horizontal e vertical), captura colorida ou preto/branco, captura de fotos, GPS, altímetro e inclinômetro.
- d) Verificação das superfícies a escanear: materiais transparentes ou brilhantes podem apresentar distorções, as quais poderiam ser minimizadas com técnicas, tais como pulverização de material (exemplo: pó) que ajude que a luz do escâner seja refletida de volta ao equipamento.
- e) O objeto a ser registrado não deve ter obstáculos físicos entre o escâner e ele, barreiras estas que eventualmente impedissem a captura do dado na trajetória do *laser*.
- f) Uso de referências em campo, durante a captura, pode ajudar no alinhamento e registro na etapa do processamento dos dados e geração da nuvem de

<sup>24</sup> FARO. Technical Specification Sheet for Focus Laser Scanner. Disponível em: [https://knowledge.faro.com/Hardware/3D\\_Scanners/Focus/Technical\\_Specification\\_Sheet\\_for\\_the\\_Focus\\_Laser\\_Scanner](https://knowledge.faro.com/Hardware/3D_Scanners/Focus/Technical_Specification_Sheet_for_the_Focus_Laser_Scanner). Acesso em: 07 ago. 2022.

<sup>25</sup> LEICA. Leica BLK360 Imaging scanner. Disponível em: [https://shop.leica-geosystems.com/sites/default/files/2019-04/blk360\\_spec\\_sheet\\_2\\_0.pdf](https://shop.leica-geosystems.com/sites/default/files/2019-04/blk360_spec_sheet_2_0.pdf). Acesso em: 07 ago. 2022.

<sup>26</sup> TRIMBLE. Datasheet – Trimble TX8 Laser Scanner. Disponível em: <https://geospatial.trimble.com/sites/geospatial.trimble.com/files/2019-03/Datasheet%20-%20Trimble%20TX8%20Laser%20Scanner%20-%20Portugese-Euro%20-%20Screen.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2022.



pontos. Tais referências, também chamadas de alvos, podem ser esferas, ou marcadores (geralmente pintados com o padrão “jogo de xadrez”) – ver Figura 122. Os alvos devem estar 100% visíveis nas capturas, sem barreiras visuais os cobrindo. É necessário que as referências estejam no mesmo lugar em 2 cenas diferentes (ou seja, em 2 capturas distintas).

Figura 122 – Alvos – Referências para captura em campo.



Fontes: (1) Nasa; (2) PIX4D; (3) Atlantic Laser Scanning.

Foram realizados 3 testes com captura de dados com escâner a *laser*, para posterior uso de técnicas de nuvem de pontos e modelagem, conforme Quadro 32.

Quadro 32 – Escâner a *laser* em tripé – resumo dos testes de acordo com o ambiente, objeto e tipo de equipamento utilizado, com numeração do teste (estudo de caso).

Nº do caso	AMBIENTE	OBJETO	EQUIPAMENTO
18	2. CAPELA VENEZA - Prédio - ambiente externo	Cobertura, volumetria do edifício	Sim – escâner FARO S350
19	8. SP - Escritório - ambiente interno	Paredes, pisos, teto (salas internas)	Sim - escâner Leica BLK360
20	6. EP CIVIL - Prédio - ambiente interno	Paredes, pisos, teto (2 salas internas)	Sim - escâner Trimble TX6

Fonte: a autora.

#### i. Caso 18: Capela da Fazenda Veneza – cidade de Valinhos, SP

Ver Quadro 33 sobre o caso 18, com dados sobre captura, processamento, modelagens, análise dos resultados.

Quadro 33 – Escâner a *laser* em tripé – Dados sobre o caso 18 – Capela da Fazenda Veneza.

<b>Caso nº 18: Capela da Fazenda Veneza – cidade de Valinhos, SP</b>	
Método de captura	Faro Focus S 350
Objeto	Capela
Objetivo da captura	Capturar dados de volumetria geral (cobertura, piso)
Tempo da captura em campo	Varredura a <i>laser</i> de $\pm 1$ hora
Quantidade de capturas	14 cenas. Na Figura 124 mostra-se uma amostra de duas cenas e suas nuvens de pontos.
Condições de captura	Houve sobreposições dos dados, considerando as diversas cenas. Ver Figura 123.
Condições de estabilidade (tripé)	Houve uso de tripé.
Uso de marcadores ou referências	Houve adição de esferas (alvos).
Condições do objeto (superfícies)	Construção feita de materiais convencionais (não transparentes e não brilhantes). Nota-se que no entorno, onde há água (corpo hídrico) e vegetações, não houve geração de pontos na nuvem, pois as superfícies destes materiais não são ideais para capturas. Parte do edifício não era visível (parte superior da cobertura), por isso também não foi completamente registrada na captura. Ver Figura 125.
Método e/ou Programa de processamento de dados capturados para nuvem de pontos	Uso do programa Faro Scene para inserção dos dados obtidos em campo e posterior processamento do registro (união das cenas). Ver Figura 125 e Figura 126
Tamanho e resolução	1,62 GB gerada de nuvem de pontos, após o registro.
Tempo de processamento para nuvem de pontos	$\pm 1$ hora no programa Faro Scene.
Avaliação dos resultados do processamento para nuvem de pontos (materialidade e dimensões)	Qualidade alta. Obteve-se qualidade média/baixa apenas no entorno (vegetação e corpo hídrico), contudo, sem causar

### Caso nº 18: Capela da Fazenda Veneza – cidade de Valinhos, SP

	prejuízo à nuvem de pontos da edificação. A parte superior da cobertura não foi registrada, contudo a parte inferior sim - Ver Figura 125. O modelo possui escala e, segundo o programa Faro Scene, tem um erro máximo de medidas de 3,5 mm e erro médio de 1,3 mm.
Limitações e problemas da captura e processamento de dados para nuvem de pontos	Não houve limitações ou problemas.
Modelagem BIM com base na nuvem de pontos	Uso do programa Autodesk Revit. Ver Figura 126.
Tempo de modelagem BIM	1 hora.
Resultados e limitações da modelagem BIM	Foi possível modelar o edifício, sem limitações.

Figura 123 – Escâner a *laser* – Capela da Fazenda Veneza – Fotos das capturas com escâner a *laser* em campo.



Fonte: a autora.

Figura 124 – Escâner a *laser* – Capela da Fazenda Veneza – Vista do modelo de nuvem de pontos antes do registro completo no programa Faro Scene.





Fonte: a autora. Exemplo de visualização de duas capturas distintas, em que as nuvens de pontos estão coloridas por captura (amarelo e vermelho).

Figura 125 – Escâner a *laser* – Capela da Fazenda Veneza – Vista da nuvem de pontos após registro completo no Faro Scene.



Imagem 1



Imagem 2



Imagem 3



Imagem 4

Fonte: a autora. Na imagem 4, a seta amarela indica que a parte superior da cobertura não foi registrada pois o escâner a *laser* não conseguiu atingir esta superfície. A imagem 3, que possui a vista interior do edifício, demonstra que esta cobertura foi registrada pelo equipamento pela sua parte inferior.

Figura 126 – Escâner a *laser* – Capela da Fazenda Veneza – Modelo no Autodesk Revit, baseado na nuvem de pontos gerada no Faro Scene.

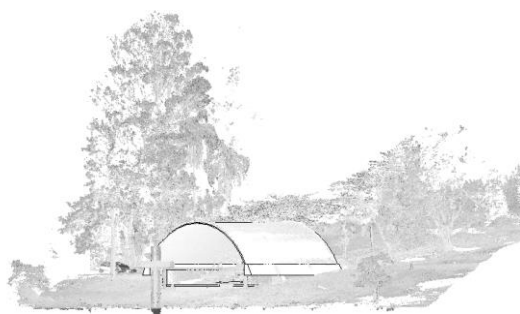


Imagem 1

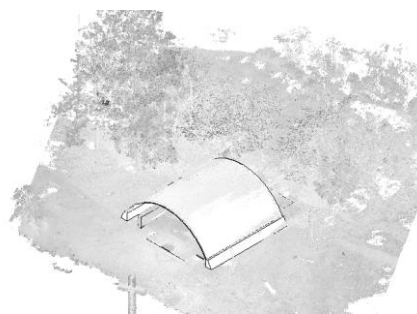


Imagem 2

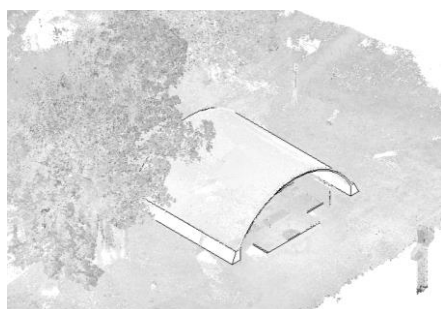


Imagem 3

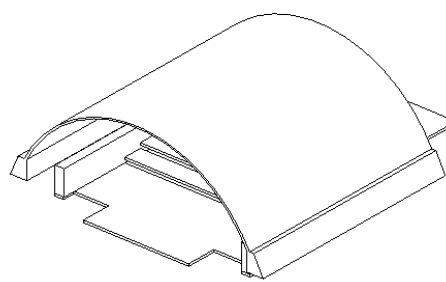


Imagem 4

Fonte: a autora. As imagens 1, 2 e 3 representam a nuvem de pontos e o modelo. A imagem 4 é o modelo isolado.

## ii. Caso 19: Sala de escritório corporativo em São Paulo

Ver Quadro 34 sobre o caso 19, com dados sobre captura, processamento, modelagens, análise dos resultados.

Quadro 34 – Escâner a *laser* em tripé – Dados sobre o caso 19 – Sala de escritório.

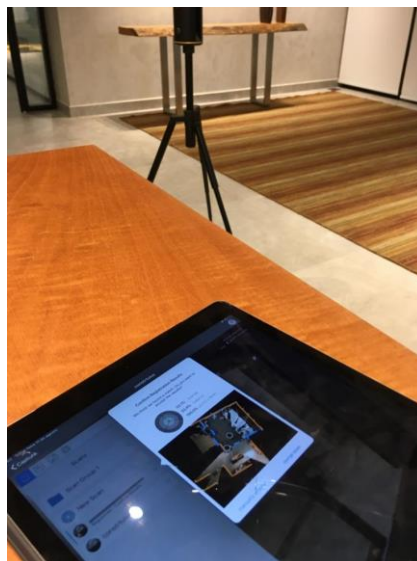
Caso nº 19: Sala de escritório – cidade de São Paulo, SP	
Método de captura	Leica BLK360
Objeto	Espaços internos de sala corporativa (1 sala de reunião, 1 copa, 1 espaço aberto para eventos e 1 corredor).
Objetivo da captura	Capturar dados de volumetria geral (piso, paredes, forros, portas, janelas)
Tempo da captura em campo	Varredura a <i>laser</i> de 20 minutos
Quantidade de capturas	4 cenas. Ver Figura 127.

Caso nº 19: Sala de escritório – cidade de São Paulo, SP	
Condições de captura	Houve sobreposições dos dados. Houve problemas de captura em cenas com barreiras humanas – ver Figura 128, imagem 4, primeira seta azul à esquerda. Houve também problemas de planejamento da captura, pois não foi possível obter todos os dados geométricos/dimensionais das janelas externas de fachada devido às cortinas estarem abaixadas – ver Figura 130.
Condições de estabilidade (tripé)	Houve uso de tripé.
Uso de marcadores ou referências	Não houve adição de marcadores.
Condições do objeto (superfícies)	No geral, elementos da construção feitos de materiais convencionais (não transparentes e não brilhantes). Nota-se que alguns elementos secundários (tais como luminárias decorativas e frigobar) são compostos de elementos brilhantes (metal), os quais não foram representados fielmente na pontos na nuvem - ver Figura 128, imagem 4, segunda e terceira setas azuis à direita.
Método e/ou Programa de processamento de dados capturados para nuvem de pontos	Uso do aplicativo Autodesk Recap em campo, em Ipad. Os dados capturados no equipamento foram transmitidos via wi-fi para o Ipad e processados para realizar o registro (união das cenas). O processamento ocorreu parcialmente de forma automática, contudo ao longo da captura de cenas, foram feitas correções, conforme detectado erro.
Tamanho e resolução	2 MB de nuvem de pontos, após o registro.
Tempo de processamento para nuvem de pontos	10 minutos.

Caso nº 19: Sala de escritório – cidade de São Paulo, SP	
Avaliação dos resultados do processamento para nuvem de pontos (materialidade e dimensões)	Qualidade alta. O modelo possui escala e, segundo o programa Autodesk Recap, tem um erro inferior a 6 mm.
Limitações e problemas da captura e processamento de dados para nuvem de pontos	Houve pequenas falhas devido a condições ambientais, conforme demonstra a Figura 128, imagem 4, em setas azuis: (1) obstruções visuais (pessoas), (2) luminária com baixa definição, por estar ligada e ser muito clara, (3) frigobar com baixa definição, por ser elemento com superfície altamente refletiva. Houve também problemas com a captura dos dados das janelas externas de fachada por falha de planejamento da execução da captura – ver Figura 130.
Modelagem BIM com base na nuvem de pontos	Uso do programa Autodesk Revit. Ver Figura 129 e Figura 130.
Tempo de modelagem BIM	1 hora.
Resultados e limitações da modelagem BIM	Foi possível modelar o espaço, apenas com limitações consideráveis nas janelas externas de fachada (estes elementos foram desenhados por suposições e com os poucos dados visíveis nas nuvens de pontos).

Figura 127 – Escâner a *laser* – Sala de escritório – Fotos das capturas com escâner a *laser* em campo.





Fonte: a autora. Captura com escâner a *laser* à esquerda; uso de *tablet* para processamento de registro em campo na imagem à direita, no programa Autodesk Recap.

Figura 128 – Escâner a *laser* – Sala de escritório – Vista do modelo de nuvem de pontos no Autodesk Recap.



Imagem 1



Imagem 2



Imagem 3



Imagem 4



Fonte: a autora. Imagens 1 e 3 são visualizações internas do modelo. Imagem 2 é a visualização externa do modelo. Imagem 4 é uma visualização interna do modelo com alguns problemas, assinalados com setas azuis.

Figura 129 – Escâner a *laser* – Sala de escritório – Modelo no Autodesk Revit.

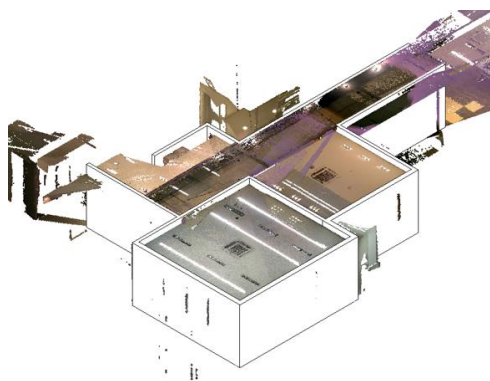


Imagem 1

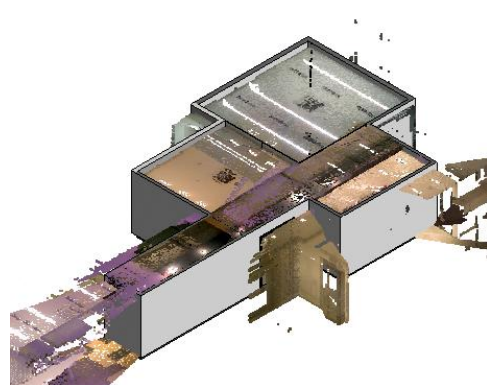


Imagem 2

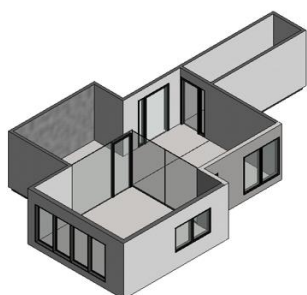


Imagem 3

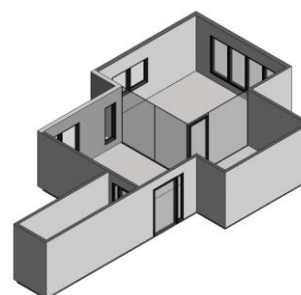


Imagem 4

Fonte: a autora. As imagens 1 e 2 são dos modelos mesclados à nuvem de pontos. As imagens 3 e 4 são apenas os modelos isolados.

Figura 130 – Escâner a *laser* – Sala de escritório – Modelo no Autodesk Revit.

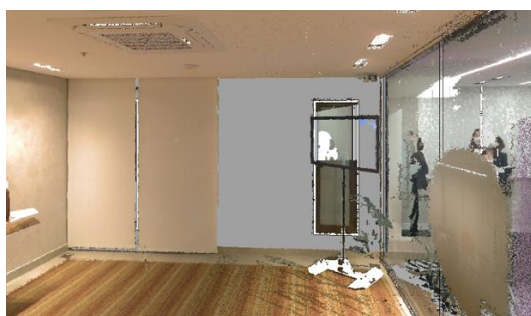


Imagem 1

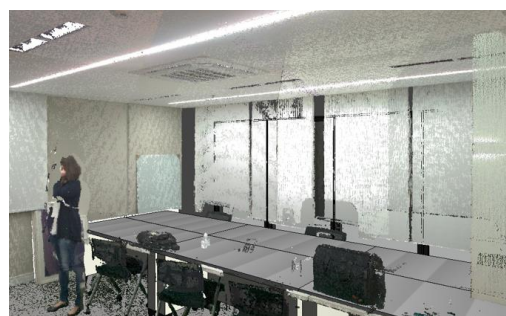


Imagem 2

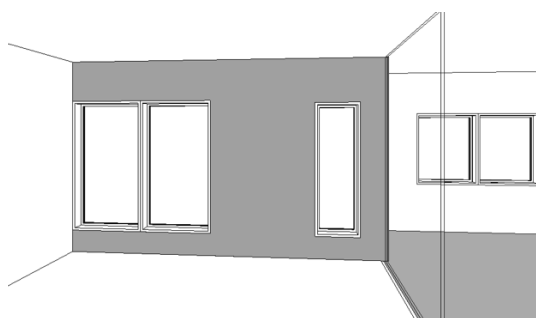


Imagem 3

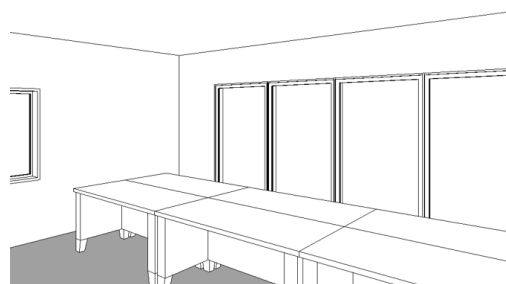


Imagem 4

Fonte: a autora. As imagens 1 e 2 são as nuvens de pontos. As imagens 3 e 4 são os modelos isolados.

### iii. Caso 20: Salas de aula da Eng. Civil da USP

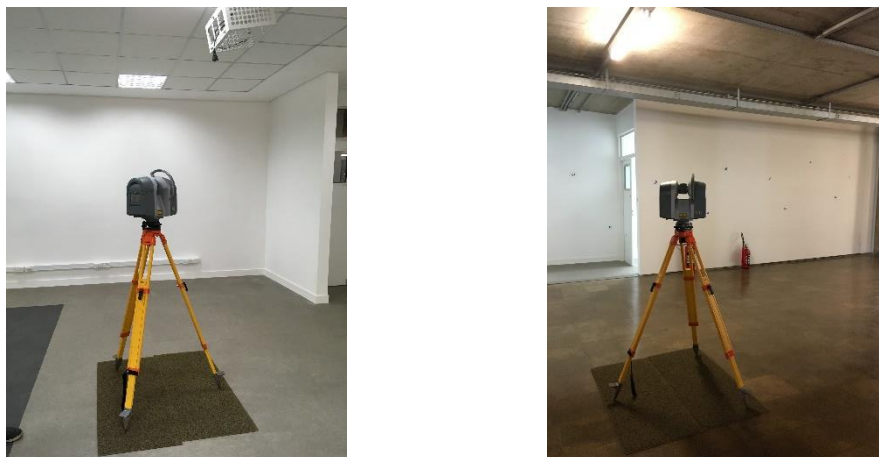
Ver Quadro 35 sobre o caso 20, com dados sobre captura, processamento, modelagens, análise dos resultados.

Quadro 35 – Escâner a *laser* em tripé – Dados sobre o caso 20 – Salas de aula da Eng. Civil da USP.

Caso nº 20: Salas de aula da Eng. Civil da USP	
Método de captura	Trimble TX8.
Objeto	Paredes, pisos, janelas, portas de 2 salas de aula e corredor entre salas.
Objetivo da captura	Capturar dados das áreas internas.
Tempo da captura em campo	Varredura a <i>laser</i> de 40 minutos
Quantidade de capturas	8 cenas. Ver Figura 131 e Figura 132.
Condições de captura	Houve sobreposições dos dados. Não houve problemas com barreiras ou superfícies não visíveis.
Condições de estabilidade (tripé)	Houve uso de tripé.
Uso de marcadores ou referências	Não houve adição de marcadores.
Condições do objeto (superfícies)	No geral, elementos da construção feitos de materiais convencionais (não transparentes e não brilhantes). Nota-se que algumas luminárias com elementos brilhantes (metal espelhado) não foram detectadas corretamente - ver Figura 133, imagem 2.

Caso nº 20: Salas de aula da Eng. Civil da USP	
Método e/ou Programa de processamento de dados capturados para nuvem de pontos	Uso do programa de computador Trimble RealWorks, após coleta em campo em campo. Os dados capturados no equipamento foram transmitidos via cartão de armazenamento. O processamento ocorreu de forma automática.
Tamanho e resolução	568 MB de nuvem de pontos, após o registro.
Tempo de processamento para nuvem de pontos	±1 hora no programa Trimble RealWorks.
Avaliação dos resultados do processamento para nuvem de pontos (materialidade e dimensões)	Qualidade alta. O modelo possui escala e, segundo o programa Trimble RealWorks, tem um erro máximo de 4.76 mm e médio de 1,4 mm.
Limitações e problemas da captura e processamento de dados para nuvem de pontos	Não houve problemas relevantes. Apenas em elementos de luminárias houve distorções na captura, devido à materialidade dos elementos (superfícies metálicas com alta reflexividade).
Modelagem BIM com base na nuvem de pontos	Uso do programa Autodesk Revit. Ver Figura 134.
Tempo de modelagem BIM	40 minutos.
Resultados e limitações da modelagem BIM	Foi possível modelar os espaços, sem limitações.

Figura 131 – Escâner a *laser* – Salas de aula da Eng. Civil da USP – Fotos das capturas com escâner a *laser* em campo.



Fonte: a autora.

Figura 132 – Escâner a *laser* – Salas de aula da Eng. Civil da USP – Vistas do modelo de nuvem de pontos no programa Trimble RealWorks.

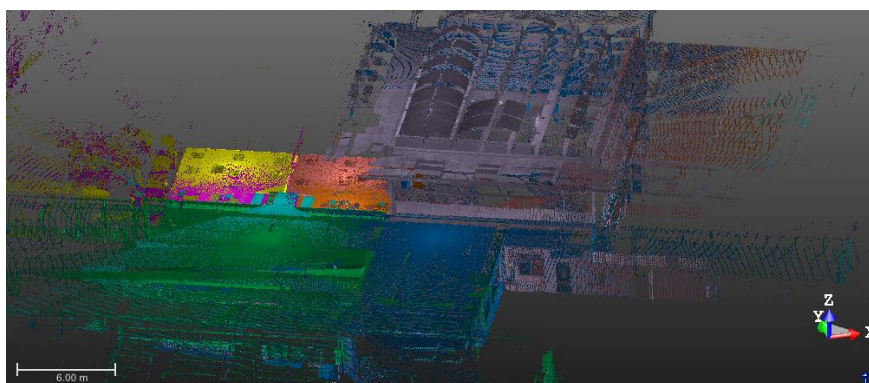


Imagem 1



Imagem 2

Fonte: a autora. Imagem 1 é vista oblíqua “vão de pássado” e imagem 2 é vista superior com as posições das tomadas (capturas) em triângulos laranjas.

Figura 133 – Escâner a *laser* – Salas de aula da Eng. Civil da USP – Vistas do modelo de nuvem de pontos no programa Trimble RealWorks.



Imagem 1

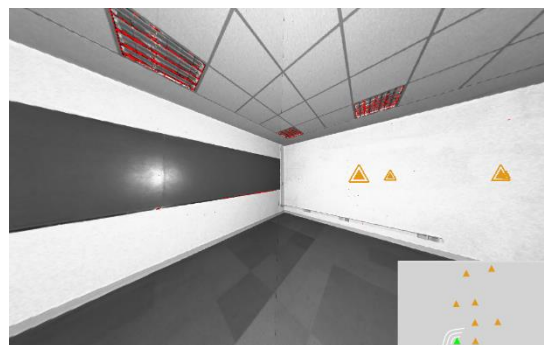


Imagem 2



Imagem 3



Imagem 4

Fonte: a autora. A imagem 1 do modelo em cores reais e a imagem 2 é o modo de visualização de destaque a pontos não medidos (nota-se que as luminárias que possuem elementos reflexivos espelhados ficaram vermelhos, indicando que o equipamento não conseguiu capturar dados destas superfícies). As imagens 3 e 4 são visualizações de medidas.

Figura 134 – Escâner a *laser* – Salas de aula da Eng. Civil da USP – Modelo no Autodesk Revit.



Imagem 1

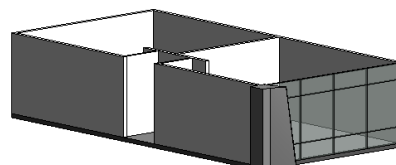


Imagem 2



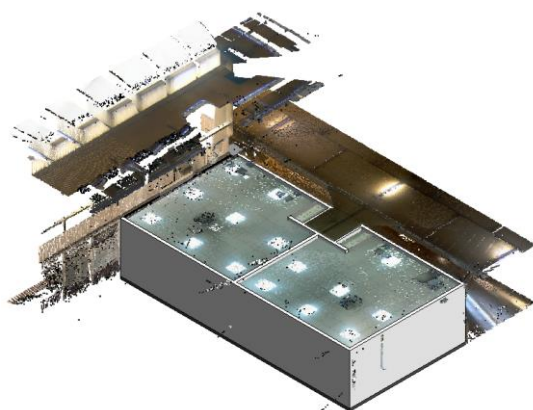


Imagem 3

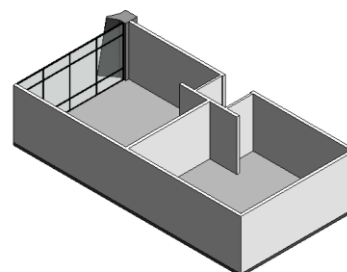


Imagem 4

Fonte: a autora. As imagens 1 e 3 são as nuvens de pontos e os modelos seus mesclados, e as imagens 2 e 4 são os modelos isolados.

### E. Escâner de mão

Sobre a ferramenta, os testes foram realizados com um equipamento de escaneamento portátil nomeado *DPI-8 Handheld Scanner* da Trimble (Figura 135). Este equipamento seria um sensor de câmera de alta resolução, que detecta luz estruturada infravermelha e imagem RGB 3D. A interface de operação do equipamento é um tablet Android, que possui o aplicativo de controle DOT3PRO e tem uma haste de manipulação (BUILDINGPOINT). Ver mais dados técnicos no Quadro 36.

Figura 135 – Escâner de mão DPI-8 da Trimble.



Fonte: BUILDINGPOINT.

Figura 136 – Escâner de mão DPI-8 da Trimble – elementos de captura de dados.



Fonte: RUMBELOW. Tecnologia de Sensor DPI-8, contendo um Projetor de Raio Infravermelho, uma câmera RGB e um Receptor de Infravermelho (tradução livre).

Quadro 36 – Especificações do escâner de mão Trimble DPI-8.

<b>Trimble DPI-8</b>	
<b>Dimensões do equipamento</b>	20 x 24 x 6 cm.
<b>Peso do equipamento</b>	< 1 kg
<b>Preço</b>	R\$ 49.990,00 (IATEC PLANT SOLUTIONS).
<b>Temperatura de operação</b>	5 a 40 °C.
<b>Software</b>	Sim, necessário usar o aplicativo DOT3PRO para capturar, registrar nuvem de pontos e exportar arquivo legível em outros programas (.pts, .ply)
<b>Controle do equipamento</b>	Tela de 8 polegadas, sensível ao toque.
<b>Densidade de pontos</b>	≤ 1.7 mm em 1 m de distância ≤ 3.4 mm em 2 m de distância
<b>Alcance</b>	60 cm a 5 m
<b>Acurácia conforme alcance</b>	Para alcances: < 1 m (acurácia típica de 0,2% e mínima de 0,4%) 1 m a 2 m (acurácia típica de 0,5% e mínima de 0,8%) 2 m a 3.3 m (acurácia típica de 0,8% e mínima de 1,2%) > 3.3 m (acurácia não especificada)
<b>Armazenamento de dados</b>	16 ou 32 GB de cartão
<b>Transferência de dados</b>	USB

Trimble DPI-8	
Fonte (todos os dados, exceto preço)	BUILDINGPOINT

Fonte: ver tabela, última linha.

Em parte dos casos, foram implementadas combinações das seguintes boas práticas de captura com escâner de mão DPI-8 da Trimble:

- a) Inicializar o equipamento conforme instruções do fornecedor. Por vezes, equipamentos de escâner exigem uma inicialização, que podem levar em média 1 minuto. Para este equipamento específico, o processo se chama *warmup* (aquecimento).
- b) Verificação de ajustes e configurações, tais como: local de armazenamento (cartão SD, por exemplo) e nome do projeto.
- c) Usar o aplicativo do *tablet*, conforme instruções do fornecedor, de forma que, durante a captura, os pontos com boa qualidade ficam pintados de verde no aplicativo, enquanto pontos com média qualidade ficam amarelos e com baixa ficam brancos, pretos e vermelhos. A captura ocorre em movimento e se recomenda que o usuário do equipamento aponte para o objeto em ângulos diferentes, circundando-o e verificando as cores indicadas no aplicativo do *tablet*. Além disso, é recomendável fazer mais de uma cena, a fim de garantir que os elementos fiquem “verdes”. Ver Figura 137.
- d) O objeto a ser registrado não deve ter obstáculos físicos entre o escâner e ele, barreiras estas que eventualmente impedissem a captura do dado na trajetória do infravermelho e da câmera RGB.
- e) No caso da câmera RGB, sugere-se tirar proveito das condições favoráveis das superfícies que são objetos da captura, apresentando irregularidades, diferentes cores ou contrastes de materiais, possibilitando a identificação de pontos homólogos entre diversas capturas (fotografias) executadas.
- f) No caso do infravermelho, fazer verificação das superfícies a escanear: materiais transparentes ou brilhantes podem apresentar distorções, as quais poderiam ser minimizadas com técnicas, tais como pulverização de material (exemplo: pó) que ajude que o infravermelho seja refletido de volta ao equipamento.



- g) O uso de referências em campo, durante a captura, pode ajudar no alinhamento e registro na etapa do processamento dos dados e geração da nuvem de pontos.
- h) Durante a captura, é possível complementar dados com novas cenas, desde que o usuário auxilie o aplicativo a identificar pontos comuns já capturados anteriormente, para usar como ponto de partida.
- i) Após finalização da captura:
  1. indicar eixos de coordenadas no aplicativo do *tablet*;
  2. otimizar os dados, através de processamento do aplicativo dos dados de marcadores (*targets*);
  3. exportar e salvar.

Figura 137 – Escâner de mão DPI-8 da Trimble – captura em andamento.



Fonte: RUMBELOW. Manchas coloridas indicam a qualidade da captura durante a coleta de dados em campo.

Foram realizados 2 testes com captura de dados com escâner de mão, para posterior uso de técnicas de nuvem de pontos e modelagem, conforme Quadro 37.

Quadro 37 – Escâner de mão – resumo dos testes de acordo com o ambiente, objeto e tipo de equipamento utilizado, com numeração do teste (estudo de caso).

Nº do caso	AMBIENTE	OBJETO	EQUIPAMENTO
21	3. SP - Prédio - ambiente interno	Estante	Sim - escâner de mão Trimble DPI-8
22	6. EP CIVIL - Prédio - ambiente externo	Fachada	Sim - escâner de mão Trimble DPI-8

Fonte: a autora.

### i. Caso 21: Estante em apartamento em São Paulo

Ver Quadro 38 sobre o caso 21, com dados sobre captura, processamento, modelagens, análise dos resultados.

Quadro 38 – Escâner de mão – Dados sobre o caso 21 – Estante em apartamento em São Paulo.

Caso nº 21: Estante em apartamento em São Paulo	
Método de captura	Trimble DPI-8
Objeto	Estante (móvel), interna à um apartamento.
Objetivo da captura	Capturar dados de uma estante (mobiliário).
Tempo da captura em campo	5 minutos.
Quantidade de capturas	2 cenas em movimento.
Condições de captura	Houve sobreposições dos dados. Os objetos decorativos causaram barreiras (objetos encobriam a estante).
Condições de estabilidade (tripé)	Não se aplica.
Uso de marcadores ou referências	Não houve adição de marcadores.
Condições do objeto (superfícies)	Condições boas de captura no geral. Alguns planos estavam encobertos por elementos (objetos), sob as superfícies da estante.
Método e/ou Programa de processamento de dados capturados para nuvem de pontos	Uso do aplicativo DOT3PRO para capturar e processar os dados, bem como gerar nuvem de pontos (arquivo em extensão .dp)
Tamanho e resolução	32 MB de nuvem de pontos, após o registro.
Tempo de processamento para nuvem de pontos	10 minutos.
Avaliação dos resultados do processamento para nuvem de pontos (materialidade e dimensões)	Qualidade alta. Apenas parte dos elementos das estantes, encoberta pelos objetos, não foi representada. Dimensões bem representadas e conferidas também com o uso de trena <i>laser</i> .
Limitações e problemas da captura e processamento de dados para nuvem de pontos	Não houve problemas relevantes. Apenas elementos não visíveis da estante não foram representados. Haveria possibilidade de

Caso nº 21: Estante em apartamento em São Paulo	
	evitar problema retirando os objetos da cena de captura.
Modelagem BIM com base na nuvem de pontos	Uso do programa Autodesk Recap para transformar os dados da captura (extensão .dp) em arquivo legível para Autodesk Revit (extensão .rcp). Ver Figura 138 – Escâner de mão – Estante – Visualização da nuvem de pontos no programa Autodesk Recap.Figura 138 e Figura 139
Tempo de modelagem BIM	20 minutos.
Resultados e limitações da modelagem BIM	Boa qualidade da nuvem de pontos. A materialidade foi bem representada. Em termos dimensionais, os desvios geométricos ficaram na ordem de 5 a 8 mm.

Figura 138 – Escâner de mão – Estante – Visualização da nuvem de pontos no programa Autodesk Recap.



Fonte: a autora.

Figura 139 – Escâner de mão – Estante – Modelo no Autodesk Revit.



Imagem 1



Imagem 2



Imagem 3

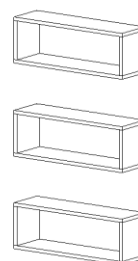


Imagem 4

Fonte: a autora.

## ii. Caso 22: Fachada externa de sala de aula da Eng. Civil da USP

Ver Quadro 39 sobre o caso 22, com dados sobre captura, processamento, modelagens, análise dos resultados.

Quadro 39 – Escâner de mão – Dados sobre o caso 22 – Fachada externa de sala de aula da Eng. Civil da USP.

Caso nº 22: Fachada externa de sala de aula da Eng. Civil da USP	
Método de captura	Trimble DPI-8.
Objeto	Caixilho de porta de sala de aula.
Objetivo da captura	Capturar dados de parte da fachada do edifício, incluindo portas e esquadrias.
Tempo da captura em campo	5 minutos.

Caso nº 22: Fachada externa de sala de aula da Eng. Civil da USP	
Quantidade de capturas	1 cena em movimento.
Condições de captura	Houve sobreposições dos dados.
Condições de estabilidade (tripé)	Não se aplica.
Uso de marcadores ou referências	Houve adição de marcadores em campo.
Condições do objeto (superfícies)	Condições boas de captura apenas para elementos de fechamento em vinho. Para caixilharia metálica, por ser material refletivo, pode haver problemas de captura para a tecnologia do infravermelho. Quanto ao vidro, este elemento não oferece boa condição de captura tanto para o infravermelho quanto para a câmera RGB.
Método e/ou Programa de processamento de dados capturados para nuvem de pontos	Uso do aplicativo DOT3PRO para capturar e processar os dados, bem como gerar nuvem de pontos (arquivo em extensão .dp)
Tamanho e resolução	19 MB de nuvem de pontos, após o registro.
Tempo de processamento para nuvem de pontos	5 minutos.
Avaliação dos resultados do processamento para nuvem de pontos (materialidade e dimensões)	Qualidade baixa. Os elementos de caixilho apresentaram muitas distorções (ruídos), sobretudo nos elementos metálicos dos caixilhos. Além disso, a ortogonalidade e planitude dos elementos foi afetada, possivelmente devido ao fato da captura ter sido feita apenas em uma cena. Ver Figura 142 e Figura 143.
Limitações e problemas da captura e processamento de dados para nuvem de pontos	Os elementos metálicos podem ter causado problemas de qualidade da nuvem de pontos e o fato de que a captura foi feita apenas com uma tomada pode ter gerado problemas de distorções da geometria dos elementos. A geometria tem distorções de até 5 cm, conforme se pode aferir com comparações de medidas feitas em campo com trena <i>laser</i> . Ver Figura 141.

### Caso nº 22: Fachada externa de sala de aula da Eng. Civil da USP

Modelagem BIM com base na nuvem de pontos	Não foi feita modelagem devido a estes problemas.
Tempo de modelagem BIM	Não se aplica.
Resultados e limitações da modelagem BIM	Não se aplica.

Figura 140 – Escâner de mão – Fachada externa de sala de aula da Eng. Civil da USP – Foto da captura com escâner de mão em campo.



Fonte: a autora.

Figura 141 – Escâner de mão – Fachada externa de sala de aula da Eng. Civil da USP – Medição com trena *laser*.



Fonte: a autora.

Figura 142 – Escâner de mão – Fachada externa de sala de aula da Eng. Civil da USP – Visualização frontal da nuvem de pontos no programa Autodesk Recap.





Fonte: a autora. As setas em vermelho identificam a não ortogonalidade dos elementos. Circulado em amarelo, pode-se ver que a última linha horizontal inferior, por exemplo, é composta por retas de diferentes ângulos.

Figura 143 – Escâner de mão – Fachada externa de sala de aula da Eng. Civil da USP – Visualização superior (planta) da nuvem de pontos no programa Autodesk Recap.



Fonte: a autora. A fachada tem uma projeção curvada e tal falta de planitude da superfície provavelmente se deve às distorções causadas pela tomada de dados ter sido feita em uma única cena.

## F. Termógrafo (câmera térmica)

Quanto à ferramenta, os testes foram realizados com a câmera térmica Flir T420 (FLIR-T62101). Ver Figura 144 e Quadro 40 para mais informações.

Figura 144 – Câmera térmica Flir



Fonte: a autora.

Quadro 40 – Especificações da câmera térmica

<b>Flir T420 (FLIR-T62101)</b>	
<b>Dimensões do equipamento</b>	12,4 x 10,6 x 20 cm
<b>Peso do equipamento</b>	880 g
<b>Preço</b>	USD 8,925 (R\$ 45.000).
<b>Controle do equipamento</b>	Tela de 3,5 polegadas
<b>Sensibilidade térmica</b>	0,045 °C
<b>Acurácia</b>	± 2 % ou 2 °C
<b>Variação térmica detectada</b>	- 20 °C a 650 °C
<b>Campo de visão</b>	25 x 19 graus
<b>Distância mínima focal</b>	0,4 m
<b>Tipo de sensor</b>	Câmera de 3.1 MP e câmera térmica (infravermelho)
<b>Resultado</b>	Foto ou vídeo
<b>Armazenamento e transferência de dados</b>	Cartão SD

Fonte: T Equipment.

Em parte dos casos, foram implementadas combinações das seguintes boas práticas de captura com a câmera térmica:



- a) Inicializar o equipamento conforme instruções do fornecedor. Conforme manual disponível dentro da caixa do equipamento, a inicialização demora 45 segundos.
- b) Verificação de bateria e armazenamento: fazer a carga de bateria e verificar se o cartão de memória SD foi inserido.
- c) Configurar o foco (manual ou automático). Caso a focagem esteja ruim, a medição pode estar incorreta, conforme informado no manual.
- d) Configurar as escalas de temperatura e formas de registro dos pontos ou regiões de medição.
- e) Segundo o manual, deve-se ter cuidado ao segurar a câmera num ângulo perpendicular ao alvo – poderá tornar-se numa fonte de radiação de infravermelhos por meio de reflexão.
- f) Conforme descrito no manual, o objeto a ser registrado deve ter alta emissividade. Exemplos de materiais de baixa emissividade, que representariam problemas de captura, seriam: espelhos, aço inoxidável polido, alumínio polido, cobre polido. Objetos com emissividade reduzida, podem aparecer como quentes ou frios na câmera pelo fato de poderem causar reflexos.

Foram realizados vários testes com captura de dados com o termógrafo, e registrados dois dos experimentos, conforme Quadro 41.

Quadro 41 – Termógrafo (câmera térmica) – resumo dos testes de acordo com o ambiente e objeto, com numeração do teste (estudo de caso).

Nº do caso	AMBIENTE	OBJETO	EQUIPAMENTO
23	3. SP - Prédio - ambiente interno	Parede e janela	Sim – Flir T420 (T62101)
24	3. SP - Prédio - ambiente externo	Fachadas externas, janelas, sistemas prediais externos	Sim – Flir T420 (T62101)

Fonte: a autora.

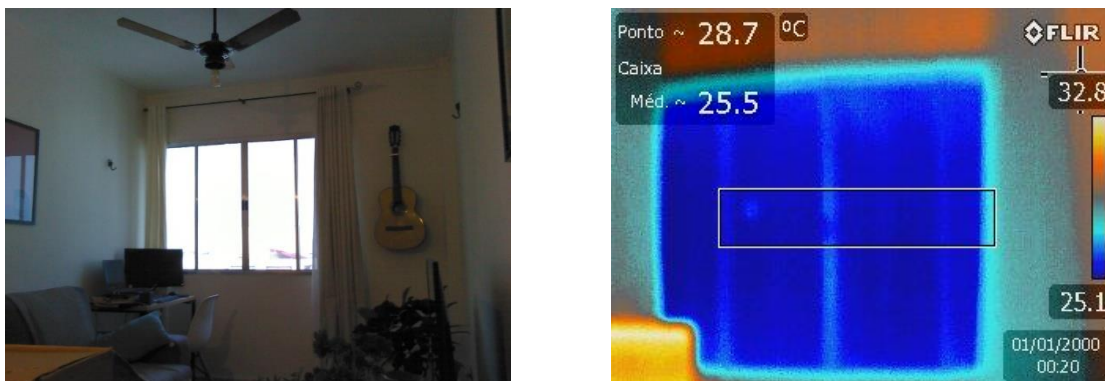
#### i. **Caso 23: Parede e janela em apartamento em São Paulo**

Ver Quadro 42 sobre o caso 23, com dados sobre a captura.

Quadro 42 – Termógrafo (câmera térmica) – Dados sobre o caso 23 – Parede e janela em apartamento em São Paulo.

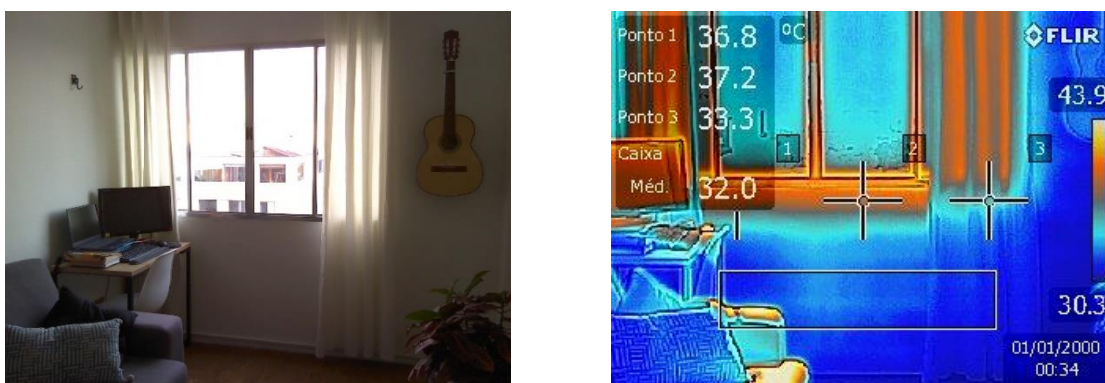
<b>Caso nº 23: Parede e janela em apartamento em São Paulo</b>	
Método de captura	Flir T420 (T62101)
Objeto	Parede e janela
Objetivo da captura	Capturar dados sobre temperatura nestes elementos
Tempo da captura em campo	Menos de 1 minuto para cada foto.
Quantidade de capturas	Diversos testes. Análise de 3 capturas.
Condições de captura (lente, sol)	Fotos tiradas em horários e dias distintos. A primeira captura, Figura 145, ficou desfocada. Repetiu-se a captura com a Figura 146, em que o foco estava adequado e as superfícies estavam recebendo incidência direta de sol. A Figura 147 foi obtida no dia seguinte, com baixa incidência de sol.
Condições de estabilidade (tripé)	Sem uso de tripé.
Condições do objeto (superfícies)	Condições boas de captura no geral. Alguns planos estavam encobertos por elementos (equipamento monitor, violão e cortinas).
Avaliação dos resultados	Resultado satisfatório. Nas imagens capturadas em momentos distintos, Figura 146 e Figura 147, foi possível observar a variação de incidência solar (maior de tarde e menor de manhã) e também constatar que há uma ponte térmica relevante na parte inferior da janela (de manhã, área é mais fria que as superfícies do entorno, de tarde é mais quente que as superfícies do entorno).
Limitações e problemas da captura	Não houve problemas relevantes, apenas o ajuste de foco e o fato de que partes dos elementos capturados não estavam inteiramente visíveis, conforme explicado anteriormente.

Figura 145 – Termógrafo (câmera térmica) – Parede e janela – Fotos obtidas em campo.



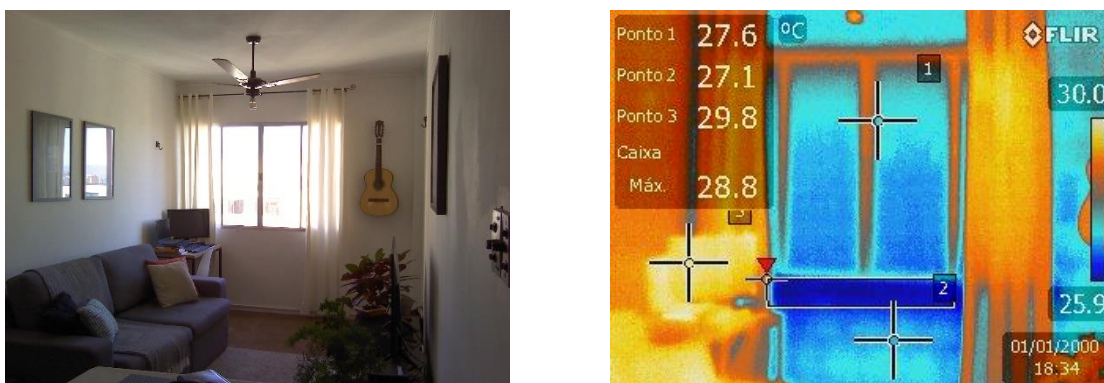
Fonte: a autora. Teste em 15/03/2021. A foto à esquerda é convencional, e à direita, obtida com a câmera térmica, ambas tiradas com o mesmo equipamento. As fotos estão sem foco e por isso o teste estaria invalidado, visto que as instruções do manual sugerem que a falta de foco pode interferir nos resultados obtidos.

Figura 146 – Termógrafo (câmera térmica) – Parede e janela – Fotos obtidas em campo.



Fonte: a autora. Teste em 26/03/2021 às 16h00. A foto à esquerda é convencional, e à direita, obtida com a câmera térmica, ambas tiradas com o mesmo equipamento. A foto à direita demonstra temperaturas superficiais variando entre 30,3 e 43,9 °C.

Figura 147 – Termógrafo (câmera térmica) – Parede e janela – Fotos obtidas em campo.



Fonte: a autora. Teste em 27/03/2021 às 9h00. A foto à esquerda é convencional, e à direita, obtida com a câmera térmica, ambas tiradas com o mesmo equipamento. A foto à direita demonstra temperaturas superficiais variando entre 25,9 e 30 °C.

## ii. Caso 24: Partes de fachada externa em prédio de apartamentos em São Paulo

Ver Quadro 43 sobre o caso 24, com dados sobre a captura.

Quadro 43 – Termógrafo (câmera térmica) – Dados sobre o caso 24 – Partes de fachada externa em prédio de apartamentos em São Paulo.

Caso nº 24: Partes de fachada externa de prédio em São Paulo	
Método de captura	Flir T420 (T62101)
Objeto	Dois trechos de fachada e seus elementos, como vedações verticais, janelas, canos expostos
Objetivo da captura	Capturar dados sobre os materiais
Tempo da captura em campo	Menos de 1 minuto para cada foto.
Quantidade de capturas	Diversos testes. Análise de 2 capturas.
Condições de captura (lente, sol)	As fotos das capturas (Figura 148 e Figura 149) foram feitas com baixa incidência direta de sol.
Condições de estabilidade (tripé)	Sem uso de tripé.
Condições do objeto (superfícies)	Sem interferências.
Avaliação dos resultados	Resultado satisfatório. Em ambas as capturas, foi possível observar visualmente a diferenciação entre os distintos materiais e

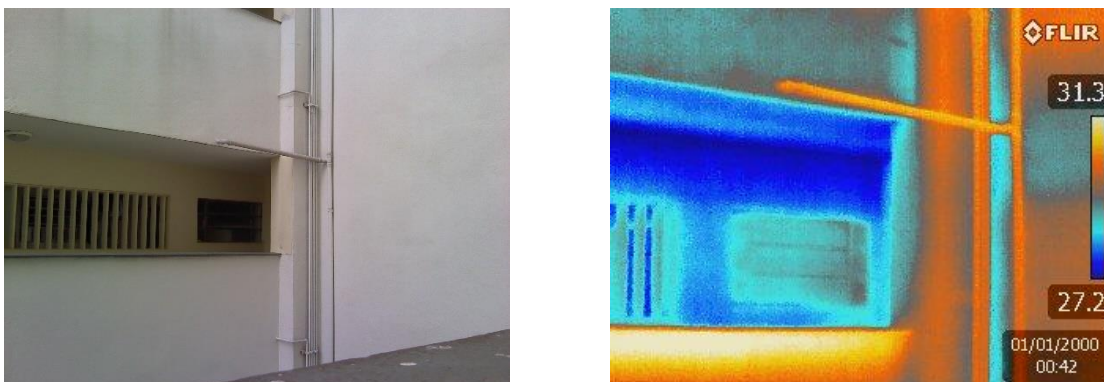
### Caso nº 24: Partes de fachada externa de prédio em São Paulo

sistemas construtivos e prediais existentes (exemplos: canos de água pluvial, alvenarias, janelas, estrutura de concreto armado).

Limitações e problemas da captura

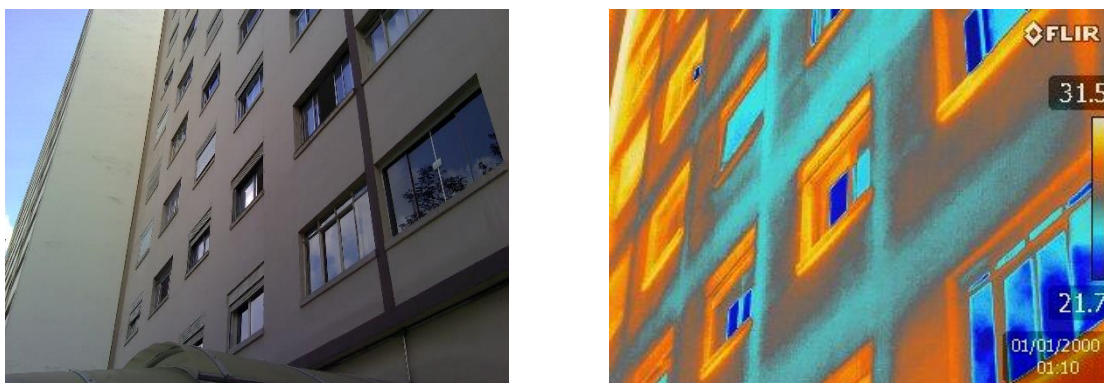
Não houve problemas relevantes.

Figura 148 – Termógrafo (câmera térmica) – Fachada externa – Fotos obtidas em campo.



Fonte: a autora. Teste em 26/03/2021 às 16h20. A foto à esquerda é convencional, e à direita, obtida com a câmera térmica, ambas tiradas com o mesmo equipamento. A foto à direita demonstra temperaturas superficiais variando entre 27,2 e 31,3 °C.

Figura 149 – Termógrafo (câmera térmica) – Fachada externa – Fotos obtidas em campo.



Fonte: a autora. Teste em 26/03/2021 às 17h00. A foto à esquerda é convencional, e à direita, obtida com a câmera térmica, ambas tiradas com o mesmo equipamento. A foto à direita demonstra temperaturas superficiais variando entre 21,7 e 31,5 °C.

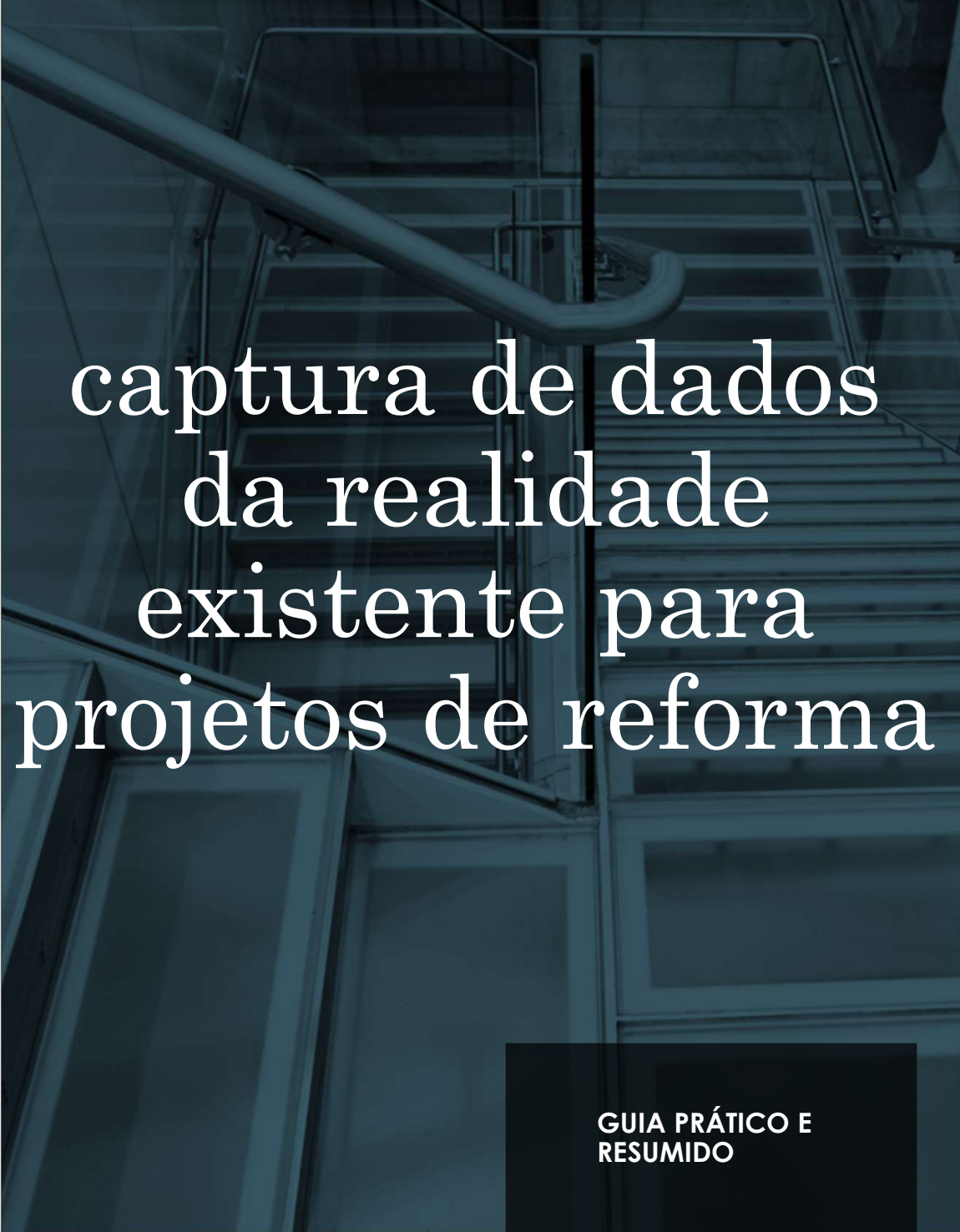


**APÊNDICE B – Resultado do questionário**



Respondente	1. Sua profissão ou ocupação atual principal	2. Qual o seu nível de conhecimento sobre o tema abordado no Guia?	3. Você já fez ou participou de projetos e obras de reforma?	4. Você já fez levantamentos dimensionais, geométricos e/ou análises em campo a fim de usar estes dados como base para desenvolvimento de projeto de reforma?	5. Você já usou os equipamentos e as metodologias abordados no Guia (fotogrametria, escaneamento laser, modelagem de edifícios existentes)?	6. Caso você tenha respondido "Sim" para as perguntas 5 e/ou 6, por gentileza, poderia descrever método e equipamentos usados para estes levantamentos?	7. Caso você tenha respondido "Sim" para as perguntas 5 e/ou 6, por gentileza, poderia descrever os benefícios e limitações relacionados às suas experiências?	8. Na sua opinião, o Guia proposto poderá te ajudar em suas atividades?	9. Na sua opinião, o Guia proposto poderá ajudar estudantes e profissionais do setor de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação? Como?
1	Arquiteto(a)	Alto	Sim	Sim	Sim	Foi utilizado o scanner a laser da Leica - BLK360 para levantamento de laje corporativa para reforma.	Benefícios - levantamento mais rápido e preciso do que se fosse feito com trenas tradicionais. Limitações - a interpretação dos pontos no software de modelagem em algumas tomadas pode provocar dúvidas, assim as fotos precisaram ser consultadas em conjunto. Além disso, exigiu considerável memória do computador por serem arquivos pesados.	Sim	Sim, o assunto pode ser conhecido mas as práticas e cuidados para se obter uma nuvem de pontos ideal para o que de fato esta se buscando ainda não esta claro para a maioria.
2	Arquiteto(a)	Baixo	Sim	Sim	Não			Sim	Em minha opinião o Guia posposto pode ajudar estudantes e profissionais das áreas citadas ao explicar possibilidades de ferramentas e técnicas de captura de dados - possivelmente não conhecidas ou utilizadas por diversos profissionais - de uma construção existente, dados esses que subsidiam uma das primeiras etapas de qualquer projeto arquitetônico de reforma.
3	Servidor público na área de controle orçamentário e licitações	Baixo	Sim	Sim	Não	Métodos mais tradicionais como trenas, prumos, esquadros, etc.	Métodos fáceis de manuseio e utilização, uma vez que possuímos uma familiaridade grande com esses equipamentos, porém apresenta um resultado impreciso.	Não	Sim, já que apresenta técnicas de medição mais eficientes e como aplicá-las, de tal forma que será possível atingir resultados mais precisos e menos trabalhosos quando essas técnicas forem aplicadas corretamente.
4	Arquiteto(a)	Médio	Sim	Sim	Sim	Utilizei saneamento laser (matterport)	Benefícios são muitos, para elaboração de escopo, conferência de informações que não puderam ser colhidos em briefing (tipo e condições de acabamentos, aferição da existência de máquinas e equipamentos,etc). A limitação para mim ainda está na função de tirar medidas, ainda um pouco limitada.	Sim	Sim, o guia pode ajudar na deisao de qual recurso utilizar, a depender do objetivo da contratação de um levantamento e do orçamento para essa atividade
5	Arquiteto(a)	Baixo	Sim	Sim	Sim	Método "tradicional" com trena/ trena laser e nível.	Modelagem de edifícios existentes com base em levantamentos com método tradicional.	Sim	Sim. Oferecendo informações e boas práticas para escolha e uso de diferentes ferramentas de levantamento. Materiais sucintos são importantes para difusão de novos equipamentos ou métodos de trabalho. Desta forma, é possível tomar um conhecimento geral, escolher o melhor método para cada caso, e depois se aprofundar na escolha.
6	Engenheiro(a)	Médio	Sim	Não	Sim	Fotogrametria com drone; fotogrametria com câmera 360	Resultados úteis para estudos preliminares e montagem de bases para projeto. Processo longo e com necessidade de muita atenção ao detalhe; dificuldade de ajuste das fotos ao software; custo de licenças e dificuldade de integração entre softwares.	Sim	Sim. Como uma primeira aproximação ao tema: escolha de equipamentos e suas potencialidades.
7	Estudante, professor(a) ou pesquisador(a)	Médio	Sim	Sim	Sim	Fotogrametria utilizando câmeras 360. Levantamento de apartamentos para realização de projetos de reforma.	Um dos principais benefícios é criar um canal de acesso fácil a informações visuais do local onde será realizado a obra de reforma. E uma das limitações é a precisão geométrica para se levantar medidas por meio do modelo gerado por câmeras 360. Ainda é necessário um levantamento de medidas in loco para maior precisão.	Sim	Sim, pois não só apresenta meios de levantamento inovadores e práticos na realidade e tecnologias atuais, como também explicita de forma sintética os métodos para a utilização desses meios.
8	Gerente Regional de Propriedades	Médio	Sim	Não	Não			Não	Sim, nos setores de arquitetura, engenharia e construção. A nível de operação podemos utilizar como um diferencial a ser oferecido, utilizando a área especializada em apoio a operação.
9	Arquiteto(a)	Alto	Não	Não	Sim	Fotogrametria Digital com drone e aplicação de software MetaShapePro, Escaneamento a laser com equipamento Trimble		Sim	Sim
10	Arquiteto(a)	Baixo	Sim	Sim	Não	Trena convencional, trena eletrônica e fotos para registro	Benéficos: baixo custo e baixa exigência técnica. Malefícios: tempo e falta de precisão (nos casos em que trabalhei, os locais eram pequenos ou o detalhe não era necessário, por ser projeto de viabilidade)	Não	Acredito que sim, em casos específicos. Primeiramente por trazer o conhecimento destas técnicas (eu não as conhecia) como uma possibilidade. No meu caso, de trabalho com prefeitura, o fator de custo com certeza será um grande limitador para a ampla utilização.
11	Arquiteto(a)	Médio	Sim	Sim	Não	Foram utilizadas trenas físicas e a laser, papel e caneta. Autocad para passar as informações a limpo e em alguns casos a modelagem no Revit	Benefícios: Custo, acessibilidade ao equipamento (éramos donos do equipamento), portabilidade e facilidade de transporte. Limitações: risco de imprecisão, necessidade de planejamento cuidadoso de tomada de medidas para garantir o fechamento do polígono, necessidade de viagens adicionais de esclarecimento podiam ser inviáveis ou custosas em tempo ou dinheiro	Não	Sim. O guia me parece uma boa introdução inicial ao tema de técnicas de levantamento de informações espaciais permitindo que estudantes ou profissionais tomem conhecimento da existência dessas técnicas.
12	Arquiteto(a)	Alto	Sim	Não	Sim	Projeto 1 - Os pontos foram levantados utilizando um par de GNSS da marca GEOMAX, sendo a base modelo ZENITH16 com e como Rover modelo ZENITH40. Drone da Marca DJI Modelo MAVIC 2 PRO. Projeto 2 - Estações Totais: Leica TS-02   TOPCON ES-105   SOKKIA SET-630RK; Receptores GNSS RTK; Drones: DJI Phantom 4 PRO   DJI Mavic   DJI Spark   DJI Tello; Nível óptico automático Stonex D1	Como grande benefício é a precisão dos levantamentos, com uma riqueza de informação que no modo convencional não é possível de se obter. Em relação às limitações, é a falta de conhecimento, por parte das equipes de levantamento, da tecnologia, pois cada tipo de levantamento possui suas especificidades e às vezes o equipamento utilizado não é o ideal. Além disso, há pessoas que possuem grande conhecimento da tecnologia e não da parte teórica, por exemplo, o levantamento é realizado perfeitamente, porém, no momento de registrar, não há informações de matrícula do terreno, muros, vizinhos, etc.	Sim	Sim, pois o conhecimento sobre esse assunto ainda é limitado. Muitos não sabem que há um equipamento ideal para se trabalhar de acordo com o objetivo que se busca, e muito menos conhecem o processo de registrar isso em um modelo BIM.
13	Estudante, professor(a) ou pesquisador(a)	Médio	Sim	Sim	Não	Trena a laser, nível a laser, estação total		Sim	Sim, pode ser um mecanismo de iniciação aos temas e trabalhar de forma explicativa os conteúdos
14	Arquiteto(a)	Baixo	Sim	Não	Não				Como leiga, achei sim que o guia pode ajudar por apresentar orientações/informações para diferentes etapas do processo desde a coleta de dados até o uso com a metodologia BIM. Além disso, o plano de execução facilita e organiza o trabalho dos profissionais.
15	Arquiteto(a)	Baixo	Sim	Sim	Não	Trena a laser, prancheta, croqui, fotos do ambiente e depois passar as informações essenciais a limpo no software BIM	Erros inerentes de anotações, poligonal que não fecha, informação que falta, grande tempo despido para levantar as informações e passar a limpo. Benefício é o conhecimento do ambienteo levantar os objetos/dimensões e o filtro de informações somente necessárias para o levantamento.	Sim	Apresenta possibilidades interessantes da aplicação da tecnologia, que pode tornar mais rápido e assertivo o processo antes artesanal. O risco é ter informações demais para se trabalhar, em contextos que se faz intervenções pontuais ou projetos mais rápidos.
16	Arquiteto(a)	Médio	Não	Não	Não			Sim	Sim, tornará mais preciso o recolhimento de informações necessárias pra um projeto as built e assim tornar menos impreciso os projetos de reforma a serem feitos em determinado edifício.
17	Arquiteto(a)	Baixo	Sim	Não	Não			Sim	Definitivamente. O esgotamento de recursos naturais, a alta do preço dos materiais de construção e as preocupações ambientais contemporâneas, impulsionam o setor da construção civil à reformar e reabilitar o patrimônio edificado ao invés de demolí-lo. As novas técnicas de captura de dados do edifício existente, principalmente quando associadas à modelagem BIM, são ferramentas muito pertinentes à essa mudança de cultura, já que facilitam e otimizam os processos de concepção e realização de projetos de reabilitação e reforma. O guia proposto contribui com a disseminação do conhecimento sobre essas técnicas e conceitos fundamentais e pode ser uma ótima ferramenta para estudantes e profissionais do setor de concepção, construção e operação de edificações para obter informações de forma rápida e detalhada do edifício existente. A associação dessas técnicas à modelagem BIM pode trazer ainda mais benefícios, auxiliando a tomada de decisões e otimizando os processos de projeto e execução da obra.

**APÊNDICE C – Guia prático e resumido para captura de dados da realidade existente para projetos de reformas**



captura de dados  
da realidade  
existente para  
projetos de reforma

**GUIA PRÁTICO E  
RESUMIDO**

2023

# captura de dados da realidade existente para projetos de reformas

GUIA PRÁTICO E RESUMIDO

## Autoria

Raísa Mendes

## Orientação

Prof. Dr. Eduardo Toledo Santos

Guia desenvolvido no âmbito do Programa de Mestrado Profissional em Inovação na Construção – Construnova, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP)

1

Prefácio, p. 1-2

5

Modelagem BIM,  
p. 25-26

2

Introdução, p. 3-8

6

Plano de execução,  
p. 27-28

3

Ferramentas e técnicas de  
captura de dados, p. 9-22

7

Referências, p. 29-30

4

Técnicas de processa-  
mento de dados, p.23-24

8

Agradecimentos,  
p. 31-32



# 1 Prefácio

## Sobre o Guia



(1)



(2)

**Imagem 1:** Escâner laser usado em campo para captura de dados de edifício existente. Fonte: a autora. **Imagem 2:** Nuvem de pontos proveniente do registro de dados capturados através de escâner laser. Fonte: a autora.

Este guia tem o objetivo de ser um referencial sumarizado para consulta, abordando o tema da captura de dados de edificações existentes. O guia se destina aos profissionais e estudantes da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) que atuam ou pretendem atuar com projetos de reabilitação de edifícios.

Em resumo, as técnicas abordadas neste guia contemplam: (1) captura de dados dimensionais e geométricos com diversos equipamentos (câmera DSLR, câmera 360°, câmera em VANT e escâner laser), (2) processamento de dados para nuvem de pontos; e (3) modelagem BIM simplificada.

O conteúdo abordado neste guia possui como referência o mestrado da autora, tendo como base referências teóricas (revisão bibliográfica), bem como testes práticos executados em campo e em entrevistas com profissionais do setor.

O **Capítulo 2 – Introdução** abarca um resumo teórico sobre as técnicas de captura de informações em campo e os processos de transformação dos dados em nuvem de pontos, para posterior modelagem BIM.

O **Capítulo 3 – Ferramentas e técnicas de captura de dados** tem o foco na descrição dos equipamentos, bem como nos procedimentos e boas práticas para aplicação das técnicas de captura de informações em campo.

O **Capítulo 4 – Técnicas de processamento de dados** aborda etapas executadas em programas computacionais que auxiliam na transformação dos dados obtidos em campo em nuvens de pontos.

O **Capítulo 5 – Modelagem BIM** explica simplificadamente sobre uma metodologia de construção de modelos, com foco na representação geométrica dos elementos construtivos vistos em campo.

O **Capítulo 6 – Plano de execução** sugere diretrizes básicas de implementação das técnicas citadas.

As seções finais **incluem as referências e os agradecimentos**.

# 2 Introdução

## Técnicas avançadas de captura de dados do edifício existente



(3)

**Imagem 3:** fotos 360° capturadas em apartamento, fonte: a autora. **Imagem 4:** nuvem de pontos e modelo BIM, fonte: a autora. **Imagem 5:** captura de dados com escâner laser e processamento de dados em tablet, com programa Autodesk Recap, fonte: a autora.



(4)

Reabilitações e reformas em edifícios existentes requerem tarefas preliminares de obtenção de dados com o intuito de fornecer aos profissionais de Arquitetura e Engenharia subsídio para o desenvolvimento de projetos. Contudo, em situações em que documentações *as built* atualizadas (ou *as is*) são ausentes ou imprecisas, podem existir riscos de projeto relacionados ao escopo – como a incompatibilidade dos dados e a falta de detecção e de proposição para solução de patologias –, como também riscos pertinentes à gestão do tempo – como atrasos em cronogramas de obra devido à inadequação projetual, originária de falta de informações base – e riscos relativos a custos – por exemplo, gastos não planejados provenientes de registros incorretos das condições do edifício. No contexto do desenvolvimento de projeto no âmbito do *Building Information Modelling* (BIM), técnicas avançadas de captura de dados – tais como o escaneamento a laser e a fotogrametria – têm sido implementadas

com êxitos e limitações de diferentes aspectos, a serem explorados resumidamente neste Guia. Entre as ferramentas habituais de medição e verificação geométrica em edifícios, existem as trenas e fitas tradicionais, trenas laser, paquímetros manuais e digitais, medidores de ângulos, esquadros, níveis, prumos, teodolitos, estações totais, entre outros. Contudo, existem também técnicas avançadas de varredura a serem exploradas neste guia, tais como o escaneamento a laser e a fotogrametria, que permitem “coletar grande densidade de informações de forma rápida, registrando com precisão a forma real dos objetos, suas irregularidades e imperfeições” (DEZENKEMPTER *et al.*, 2015, p. 115).

(5)





## 2.1 Fotogrametria

### Câmeras e fotografias para geração de nuvem de pontos



(6)

A técnica de fotogrametria denominada *Dense Stereo Matching* resulta na geração de nuvem de pontos ou malha triangular irregular, baseada em processos de correlação de conjuntos de pixels de diferentes fotografias. Esta técnica é aplicável em objetos com texturas não uniformes (conjunto diferenciado de pixels). Segundo Groetelaars (2015, p. 72-73), a técnica “baseia-se na correlação automática de conjuntos de pixels homólogos em diferentes fotos para a geração de ‘nuvem de pontos’ [...] ou da malha triangular (*Triangular Irregular Network – TIN*)”; a autora explica que a técnica de correlação automática funciona quando a superfície do objeto fotografado não é uniforme (pixel padrão).

Os objetos da captura fotográfica podem ter diversas escalas (esculturas, fachadas, ambientes, prédios) e podem ser fotografadas por diversos tipos de equipamento e condições (fotos convencionais, fotos 360°, fotos tiradas com VANT etc).

A tomada de fotos deverá seguir alguns cuidados específicos, os quais serão abordados no **Capítulo 3 – Ferramentas e técnicas de captura de dados**.

Com o auxílio de programas computacionais, a geração do modelo 3D em nuvem de pontos ou em malha TIN pode ser feita da seguinte forma: após as tomadas fotográficas, são inseridas imagens nestes programas, executando então automaticamente a identificação de pontos comuns (homólogos) e a criação da nuvem de pontos e/ou malha. No caso da fotogrametria esférica especificamente, a técnica usa panoramas esféricos para criar a restituição fotogramétrica, através de fórmulas matemáticas que ajustam a geometria dos pontos (pixels) capturados em uma projeção equirretangular.

O processamento em programas computacionais será abordado no **Capítulo 4 – Técnicas de processamento de dados**. Os produtos resultantes do processamento do programa computacional são nuvens de pontos e malhas TIN, as quais podem ser usadas como base para modelagem BIM, a ser abordada no **Capítulo 5 – Modelagem BIM**.

**Imagem 6:** fotos com câmera DSLR e com câmera 360°. Fonte: a autora. **Imagem 7:** produtos resultantes do processamento de fotogrametria (nuvem de pontos e malha TIN texturizada), feitos com apoio do programa Agisoft Metashape. Fonte: a autora.

(7)





## 2.2 Escaneamento a laser

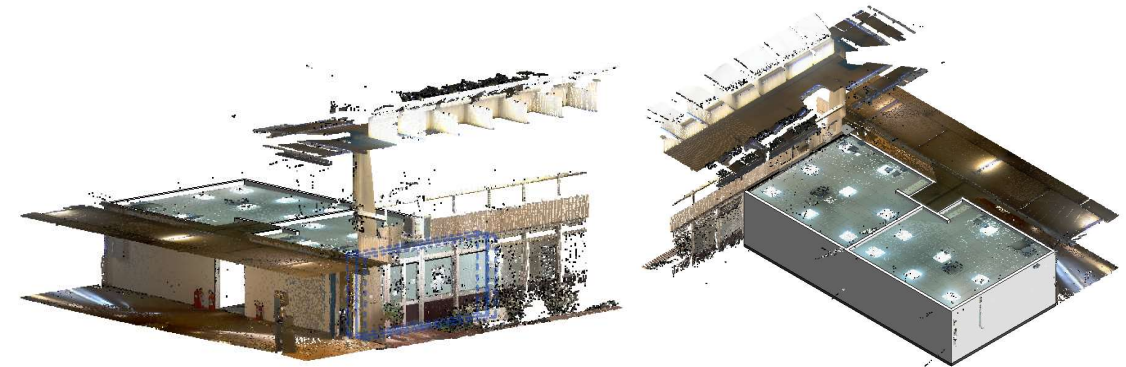
### Tecnologia laser para geração de nuvem de pontos



(8)

O escâner laser é uma ferramenta que permite fazer a captura de dados dimensionais de objetos visíveis. Segundo Ebrahim (2011, p. 2-3), a tecnologia baseia-se em emissões contínuas de raios laser que medem distâncias em várias direções, podendo ser descrita como uma estação total motorizada, que mede automaticamente todos os pontos nos campos verticais e horizontais; o equipamento registra e computa as coordenadas relativas e os ângulos verticais e horizontais; o escâner pode embutir também informações de cor RGB (foto). Ebrahim (2011, p. 3) diz que a proposta de um escâner laser geralmente é criar nuvens de pontos de um objeto – podendo ser um edifício, uma fachada, entre outros. Segundo Groetelaars (2015, p. 84), a precisão “pode variar do centímetro [...] ao submilímetro”, dependendo do equipamento, técnica, distância do objeto, entre outros aspectos, tendo um tempo de captura muito reduzido.

Além dos equipamentos terrestres fixos em tripés, existem também o escâner terrestre móvel (embarcados em tripés móveis, veículos ou robôs), o escâner de mão ou portátil (*hand-held laser scanner*), o escâner aéreo (inseridos em Veículos Aéreos Não Tripulados – VANT – e aeronaves, por exemplo). Os equipamentos atuais de escaneamento a laser geralmente possuem câmeras acopladas, obtendo também dados fotográficos e cor.



(9)

**Imagem 8:** fotos de diferentes equipamentos de escaneamento a laser. Fonte: FARO, LEICA e TRIMBLE.  
**Imagem 9:** produtos resultantes do registro (junção das cenas tomadas em campo), gerando nuvem de pontos. feitos com apoio do programa Trimble RealWorks. Fonte: a autora.

Orientações sobre a escolha de escâner laser, bem como cuidados a serem tomados durante a captura das cenas, serão abordados no **Capítulo 3 – Ferramentas e técnicas de captura de dados**. Após o trabalho feito em campo, é feito um registro das cenas, constituindo o processamento computacional que unifica as diversas tomadas feitas em campo; tal processo será abordado no **Capítulo 4 – Técnicas de processamento de dados**.

Por fim, pode-se usar a nuvem como base para modelagem BIM, mencionado no **Capítulo 5 – Modelagem BIM**.

# 3 Ferramentas e técnicas de captura de dados

## Equipamentos e procedimentos



(10)



(11)



(12)



(13)



(14)



(15)



(16)



(17)

**Imagem 10:** trena laser, fonte: Conecta. **Imagem 11:** escâner laser, fonte: TRIMBLE. **Imagem 12:** alvos de referência para escâner laser, fonte: ATLANTIC LASER SCANNING. **Imagem 13:** câmera DSLR, fonte: CANON. **Imagem 14:** câmera em VANT, fonte: DJI. **Imagem 15:** câmera 360°, fonte: INSTA360.

A escolha da tecnologia a usar para levantar geometrias e dimensões – métodos convencionais, equipamentos avançados de fotogrametria e escaneamento a laser, entre outros – deverá variar conforme as condições – recursos financeiros, tecnológicos, temporais e situações impostas pelo ambiente de captura – bem como com o objetivo do levantamento e adequação das ferramentas a este objetivo. Os aspectos e características dos equipamentos devem ser conhecidos e estudados na etapa de planejamento da captura e do levantamento em campo, devendo também ser debatidos pela equipe de projetos que irá conceber a reabilitação do edifício existente. Segundo Groetelaars (2015, p. 54), é necessário definir “os aspectos do projeto de documentação”, tais como “nível de detalhe requerido; recursos disponíveis,

**Imagem 16:** marcadores usados para aplicação de fotogrametria, fonte: Nasa. **Imagem 17:** alvos esféricos utilizados para escaneamento a laser, fonte: a autora.

relacionados a equipamentos e programas computacionais bem como as habilidades profissionais; tempo disponível; e resultados desejados, incluindo a organização e a apresentação dos dados”.

Segundo Klein et al. (2012, p. 162, tradução nossa), “a fotogrametria oferece uma das soluções de baixo custo mais promissoras, mas depende bastante de condições ambientais favoráveis”. Já os equipamentos de escâner laser possuem custos ainda altos de aquisição da ferramenta, necessita maior treinamento e capacitação para uso, tendo como vantagem a rapidez e facilidade para obtenção de grande quantidade de dados. Mais detalhes sobre procedimentos, benefícios e desvantagens das ferramentas serão abordados a seguir.

# 3.1 Fotogrametria

## Equipamentos e procedimentos

Conforme mencionado no **Capítulo 2**, o *Dense Stereo Matching* pode ser feito com base em distintas câmeras e suportes destes equipamentos. Quanto às câmeras, podem ser usadas DSLRs e também por capturas esféricas, resultante de fotografias capturadas em câmeras de uma só lente (com uso de tripés especiais que rotacionam a câmera, controlando o raio de rotação), em câmeras de duas lentes olho-de-peixe, ou em câmeras com mais de duas lentes. Sobre o suporte, pode variar da seguinte forma: terrestre, quando a foto é tirada próxima à superfície terrestre; aérea, quando o equipamento é colocado em aeronaves, balões, helicópteros, veículos aéreos não tripulados (VANT) conhecidos popularmente por drones; orbital quando a câmera é colocada em satélites.

Comparando a técnica com o escaneamento a laser, a captura de fotos para processamento fotogramétrico tem benefícios interessantes, como o baixo custo de investimento na ferramenta, a capacidade de representar texturas das superfícies e a portabilidade das câmeras (facilidade de transporte e manejo). No caso específico de câmeras em VANT, tem-se o benefício de visualizar superfícies do prédio inacessíveis quando são usadas tecnologias terrestres e, no caso de câmeras 360°, tem-se o benefício de um bom registro com poucas fotos, tendo agilidade e acessando ambientes pequenos. Alguns dos desafios da fotogrametria no geral são a capacitação técnica profissional, para que haja um controle e uso estratégico das condições de captura, bem como a mitigação dos desafios que o ambiente pode trazer como limitação para boa aplicação da fotogrametria.

No quadro ao lado são ilustrados alguns procedimentos, boas práticas e limitações da fase de captura, com base nas referências abordadas na pesquisa de mestrado da autora, bem como nas suas experimentações. Pode-se destacar as seguintes referências: Groetelaars e Amorim (2012) e Barazzetti *et al.* (2017 e 2020), Fangi e Nardinocchi (2013).



Escolher câmera e planejar as miradas, evitando obstruções

- A escolha da câmera (DSLR, 360) e suporte a utilizar (terrestre, aérea), deve alinhar-se com o uso pretendido do dado a capturar.
- Planejar captura para mirar diretamente no objeto alvo, tentando evitar e contornar possíveis barreiras e oclusões de mirada, que podem ser causadas por vegetação, carros, móveis, pessoas.
- No caso das câmeras 360°, realizar captura remotamente, de forma a evitar que pessoa apareça na própria foto.



controlar condições de captura da câmera e verificar tripé ou veículo

- Cuidar da resolução da câmera, para manter boa qualidade.
- Estabilizar fotos estáticas, tais como nos casos de câmeras DSLRs e 360°, por exemplo, usando tripés ou evitando capturas borradas ou em movimento.
- No caso de VANTs, utilizar programação adequada para vôo, definindo no plano a trajetória, velocidade, quantidade de fotos, altura e angulação da tomada. Atentar à habilitação do operador, à autonomia de bateria do equipamento e às regras de segurança de vôo da ANAC e do proprietário do edifício.



fazer adequada sobreposição de dados das fotos

- Câmeras convencionais necessitam de muitas fotos: recomenda-se obter de 2 a 3 imagens de cada ponto do objeto a ser registrado, fotografando com ângulos nulos (fotos paralelas) ou menores de 10° entre si; fotos deverão ter sobreposição de dados, preferencialmente de 80% entre si.
- Já câmeras 360° tendem a ter requisito menor de número de capturas: recomenda-se cerca de 30% de sobreposição.



aproveitar ou criar boas condições de superfície do objeto de captura

- Objeto deve apresentar textura não uniforme. Tirar proveito de contrastes, cores, materiais diferentes, geometrias bem demarcadas.
- Caso objeto não possua irregularidades, pode-se melhorar as condições ambientais adicionando marcadores ou sinalizações na superfície que serão posteriormente usados como referência para o processamento.



controlar ou monitorar adequada iluminação

- Manter as condições de luminosidade durante o levantamento em campo; evitar grandes contrastes de iluminação, sobretudo no caso das câmeras 360°.
- Para ambientes externos, com uso de luz natural, preferencialmente executar captura em curto período (mantendo luz uniforme) e preferencialmente em dia sem nuvens;



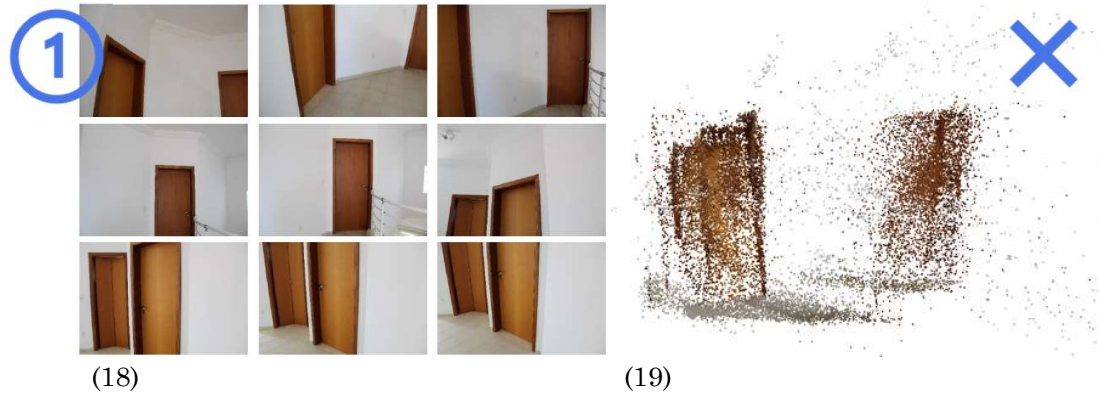
medir em campo para posterior ajuste de escala

- Medir algumas distâncias em campo, anotando-as para usar futuramente como dado base para escalar nuvem e modelo 3D. Pode-se usar trenas laser ou algum outro equipamento de medição confiável.

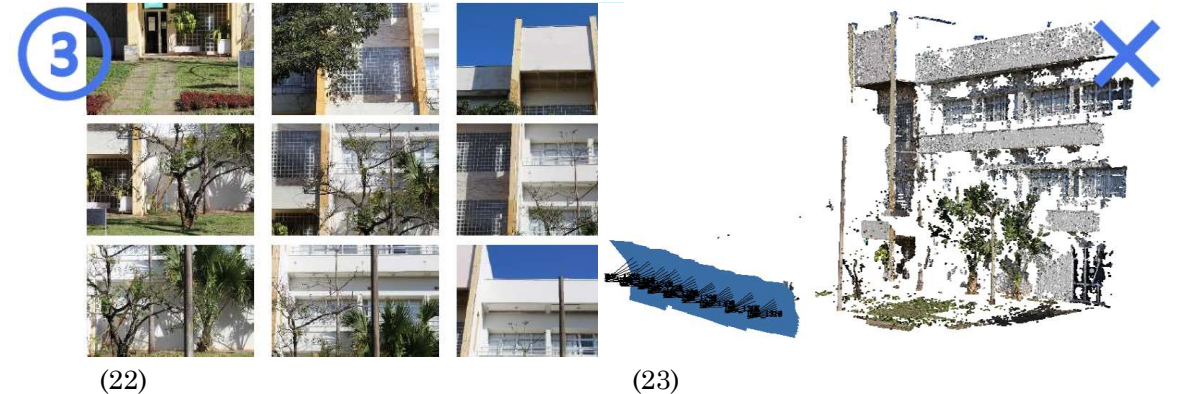


# 3.1 Fotogrametria

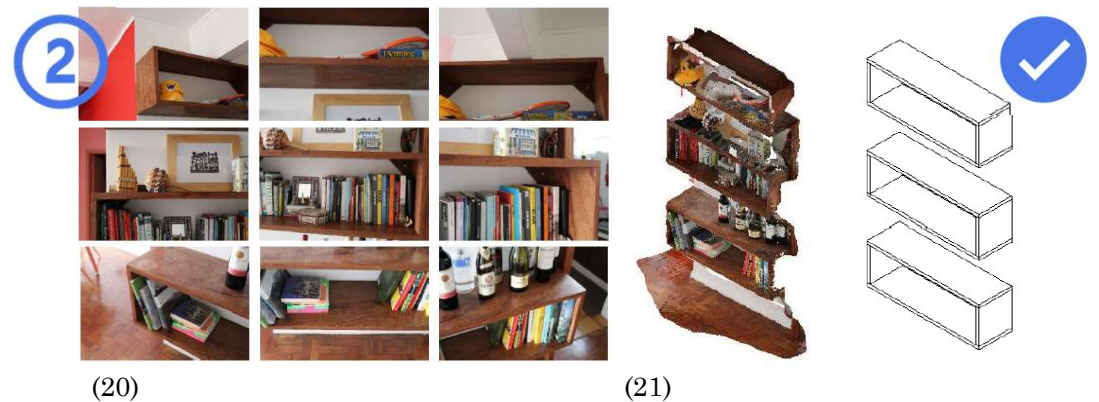
## Exemplos



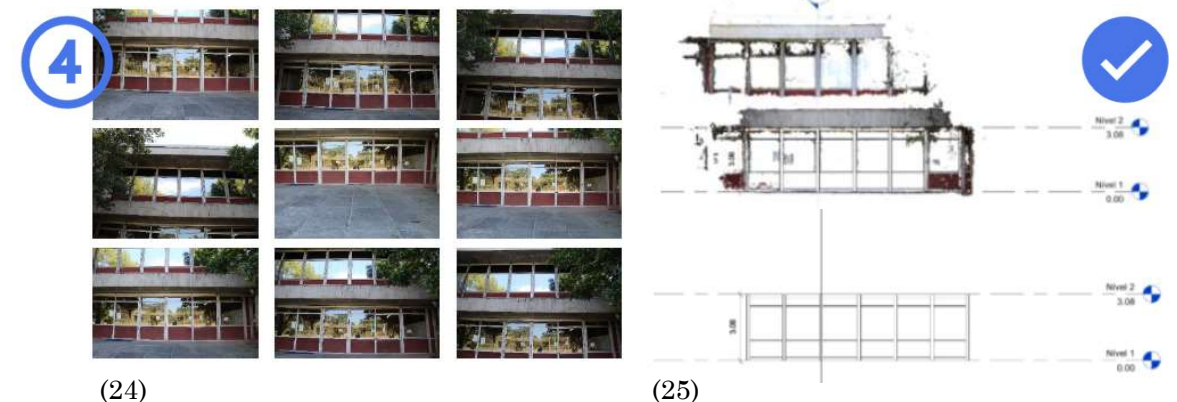
**Imagem 18:** amostra de parte das fotos obtidas com câmera DSLR de parede branca sem textura e contraste; 59 fotos no total, captura de duração de 6 minutos; não foram usados marcadores para mitigar a condição ambiental desfavorável; não foi usado tripé. **Imagem 19:** o processamento das fotos durou 35 minutos, gerando uma nuvem de pontos gerada com baixa representatividade (não conseguiu representar parede adequadamente). Fonte: a autora.



**Imagem 22:** amostra de parte das fotos obtidas com câmera DSLR de fachada de prédio de faculdade, contendo muitas texturas e contrastes, bem como barreiras de visão (árvores); 71 fotos no total, captura de duração de 5 minutos; sem uso de marcadores e com uso de tripé. **Imagem 23:** nuvem de pontos gerada com ruídos e oclusões, causados por vegetação que obstruiu parte da tomada de fotos; planos azuis no canto esquerdo representam os planos de captura da câmera DSLR. Fonte: a autora.



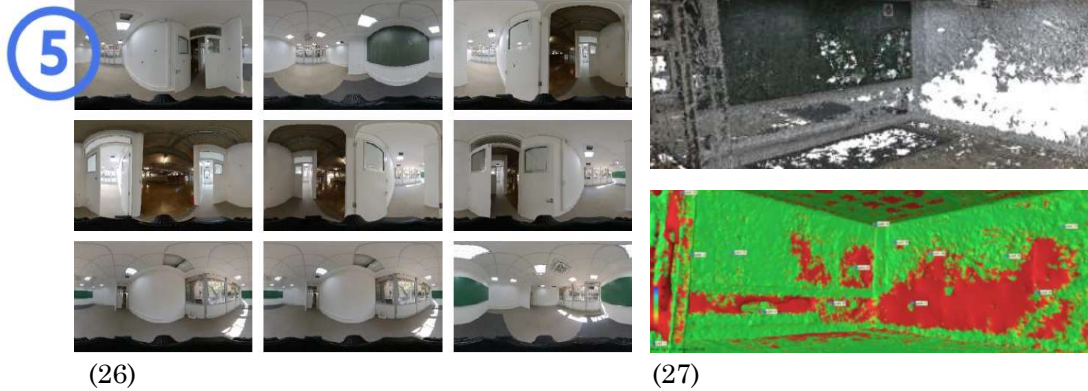
**Imagem 20:** amostra de parte das fotos obtidas com câmera DSLR de estante com muitas texturas, contrastes e cores; 43 fotos no total, captura de duração de 4 minutos; não foram usados marcadores nem tripé. **Imagem 21:** nuvem de pontos gerada teve qualidade suficiente para modelagem BIM com geometria simplificada. Fonte: a autora.



**Imagem 24:** amostra de parte das fotos obtidas com câmera DSLR de fachada de prédio de faculdade, contendo muitas texturas e contrastes, mesmo com vidros reflexivos que dificultam o processo; 32 fotos no total, captura de duração de 3 minutos; sem uso de marcadores; houve uso de tripé. **Imagem 25:** nuvem de pontos gerada teve qualidade suficiente para modelagem BIM simplificada, com geometria da porção inferior (térreo) da fachada. Fonte: a autora.

# 3.1 Fotogrametria

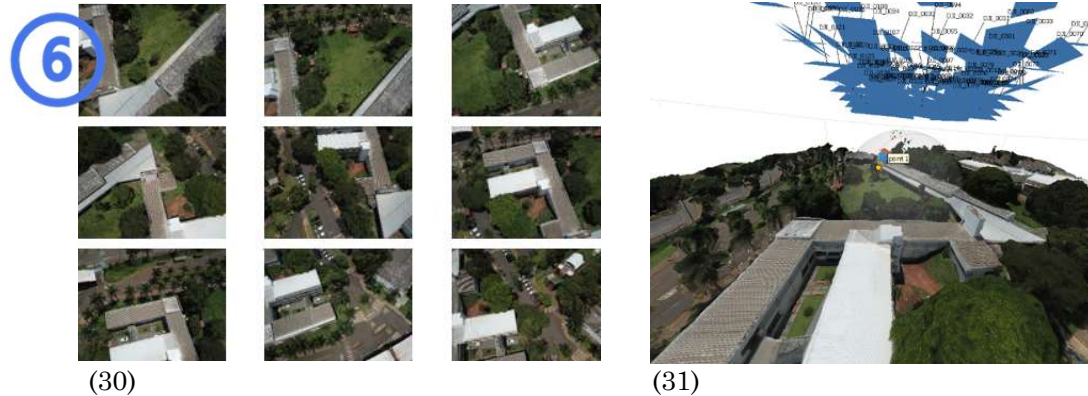
## Exemplos



(26)

(27)

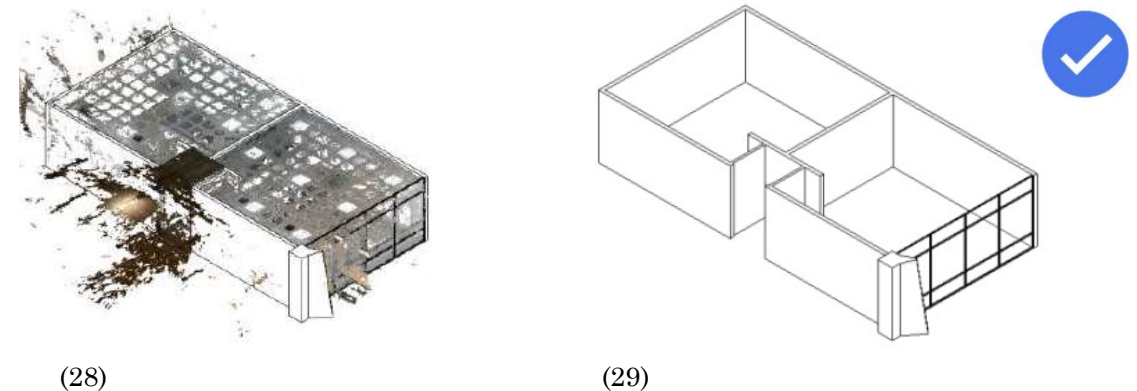
**Imagem 26:** amostra de parte das fotos obtidas com câmera 360° de duas salas de aula contíguas, com paredes brancas com pouca textura e contraste; portas, lousas verdes, janelas entre outros elementos foram usados como referência, assim como foram adicionados marcadores nas paredes brancas, mitigando a condição ambiental desfavorável; foram tiradas 38 fotos no total, em 10 minutos. **Imagem 27:** nuvem de pontos densa e modelo de confiabilidade (verde mais confiável e vermelho menos). Fonte: a autora.



(30)

(31)

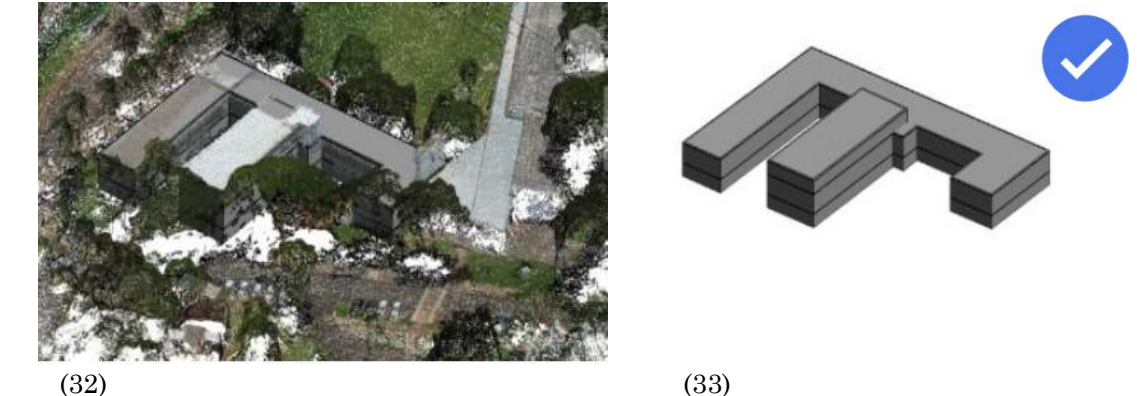
**Imagem 30:** amostra de parte das fotos obtidas com câmera embarcada em VANT de edifício educacional, apresentando muitas texturas e contrastes; não foram utilizados marcadores; foram tiradas 136 fotos no total, em 11 minutos de voo. **Imagem 31:** nuvem de pontos gerada; planos azuis no canto superior representam os planos de captura da câmera do VANT. Fonte: a autora.



(28)

(29)

**Imagem 28:** nuvem de pontos gerada conseguiu representar ambientes suficientemente, possibilitando modelagem BIM simplificada. **Imagem 29:** modelo BIM simplificado, com geometria espacial de paredes, piso, pilar e caixilharia. Fonte: a autora.



(32)

(33)

**Imagem 32:** nuvem de pontos gerada conseguiu representar ambientes suficientemente, possibilitando modelagem BIM simplificada. **Imagem 33:** modelo BIM simplificado, representando apenas massa volumétrica. Fonte: a autora.



## 3.2 Escaneamento a laser

### Equipamentos e procedimentos

Conforme mencionado no **Capítulo 2**, o escaneamento a laser pode variar quanto aos tipos de equipamentos e formas de captura. Há ferramentas terrestres fixas em tripés, terrestres móveis (tripés móveis, veículos ou robôs), de mão ou portátil (*hand-held laser scanner*), o escâner aéreo (inseridos em Veículos Aéreos Não Tripulados – VANT – e aeronaves tripuladas, por exemplo). Como resultado do escaneamento, que usa raios laser para medir distâncias em múltiplas direções, e do processamento dos dados obtidos em campo, gera-se uma nuvem de pontos. O escâner pode também incorporar câmeras, que fornecem como produto fotos RGB, possibilitando a geração de nuvem de pontos texturizada (cor real do ponto). Existem variações de configurações e capacidades dos equipamentos de escaneamento a laser, os quais devem ser estudados a fim de selecionar a ferramenta adequada ao uso pretendido.

Comparando a técnica com a fotogrametria, o escaneamento a laser tem maior capacidade de obtenção de volume de informações, com maior rapidez durante a captura. Contudo, o alto custo de aquisição do escâner ainda é uma desvantagem, por mais que o preço tenha reduzido ao longo do tempo. A capacitação técnica para uso do equipamento é um desafio de implementação do método, acentuado pela falta de acesso a ele devido ao custo. A sensibilidade (fragilidade) e por vezes o grande volume do equipamento (necessitando de maiores cuidados no manejo), a baixa capacidade do emprego da técnica em superfícies transparentes e reflexivas e a pobre representação de texturas de superfície são problemas que o escâner pode apresentar devido à natureza do equipamento e a depender do nível de atualização e aprimoramento que a tecnologia possui.

Ao lado são ilustrados alguns procedimentos, boas práticas e limitações da fase de captura, com base nas referências abordadas na pesquisa de mestrado da autora, bem como nas suas experimentações. Pode-se destacar as seguintes referências: Ebrahim (2011), Groetelaars (2015), Klein et al. (2012).



escolher a ferramenta adequada ao uso pretendido

- Selecionar o escâner laser conforme o objetivo do trabalho e a capacidade do equipamento. Características das ferramentas variam: dimensões e pesos do escâner, autonomia de bateria, modo de controle de parâmetros em campo, raio de visão, velocidade da medição, alcance do laser (e variações conforme velocidade escolhida e cor da superfície capturada), taxa de erro de alcance, precisão de posição em 3D, precisão angular, etc.



preparar equipamento

- Inicializar o equipamento conforme consta no manual de instruções. Ajustar o equipamento quanto ao GPS, altímetro e inclinômetro.
- Verificar configurações (velocidade da captura, resolução, ângulos a capturar, local de armazenamento de dados, uso de câmera RGB, etc).



planejar as miradas e evitar obstruções

- Planejar captura para mirar diretamente no objeto alvo, tentando evitar e contornar possíveis barreiras e oclusões de mirada, que podem ser causadas por vegetação, carros, móveis, pessoas.
- Realizar captura remotamente, de forma a evitar que pessoa apareça na própria cena.



aproveitar ou criar boas condições de superfície do objeto de captura

- Há limitações ou maiores dificuldades se o objeto apresentar superfícies de alta reflexividade e transparência. Evitar vidros, espelhos, metais brilhantes. Se necessário e possível, pulverizar pó em materiais com alta refletividade e translucidez.
- Escâner funciona melhor com objetos claros do que escuros.



Usar alvos esféricos e pontos de controle

- Caso objeto seja grande (prédios inteiros e ambientes externos), requerendo a obtenção de diversas cenas (capturas) ou caso o objeto não possua as boas características citadas nas superfícies dos materiais, pode-se melhorar as condições ambientais adicionando marcadores, pontos de controle georreferenciados ou alvos esféricos que serão posteriormente usados como referência para o processamento.

## 3.2 Escaneamento a laser

### Exemplos

7



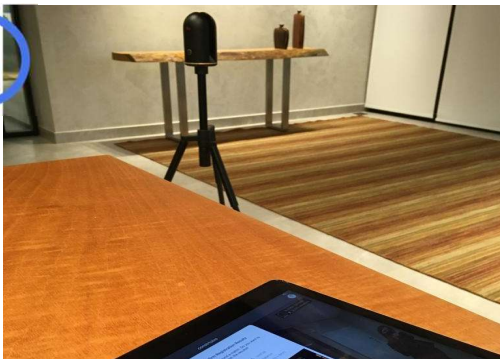
(34)



(35)

**Imagem 34:** foto da etapa de escaneamento de edifício religioso, com apoio de alvos esféricos apoiados em tripé. Foram capturadas 14 cenas em menos de 1 hora (contexto de ensino do uso da máquina). **Imagem 35:** nuvem de pontos gerada. Nota-se que o prédio está bem representado no geral, exceto a cobertura (seta amarela), que não está completamente delineada. Nota-se também que os elementos da natureza (vegetação e corpo hídrico) estão apresentando ruído (distorções) ou falta de representação. Fonte: a autora.

8

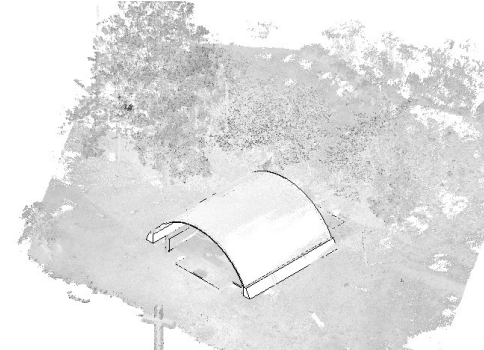


(38)

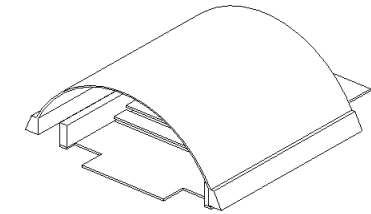


(39)

**Imagem 38:** foto da etapa de escaneamento de escritório corporativo, com escâner apoiado em tripé e sem uso de alvos esféricos ou marcadores. Foram capturadas 4 cenas em cerca de 20 minutos (contexto de ensino do uso da máquina). **Imagem 39:** nuvem de pontos gerada. Nota-se que o espaço interno está bem representado no geral, incluindo geometria de piso, paredes, forro, portas, móveis, partições industriais etc. Fonte: a autora.

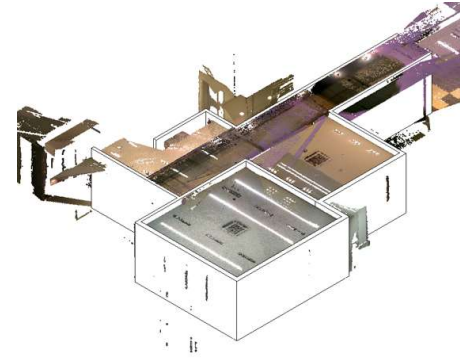


(36)

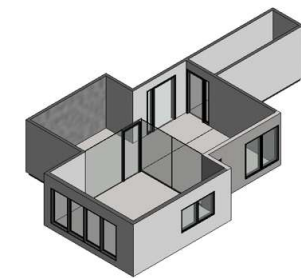


(37)

**Imagem 36:** nuvem de pontos gerada conseguiu representar superfícies externas e internas suficientemente, possibilitando modelagem BIM simplificada. **Imagem 37:** modelo BIM simplificado, com geometria espacial de cobertura, piso, paredes. Fonte: a autora.



(40)



(41)

**Imagem 40:** nuvem de pontos gerada conseguiu representar ambientes suficientemente, possibilitando modelagem BIM simplificada. **Imagem 41:** modelo BIM simplificado, representando piso, paredes, portas e partições industriais. Fonte: a autora.



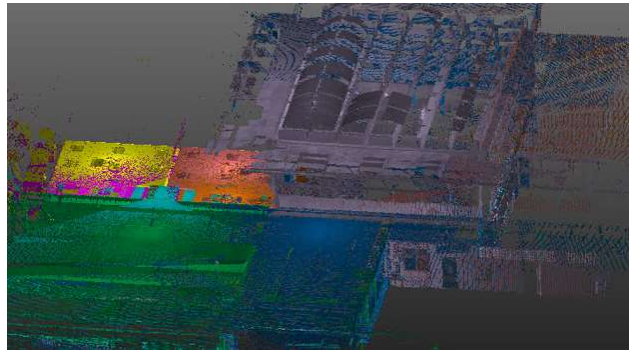
## 3.2 Escaneamento a laser

### Exemplos

9

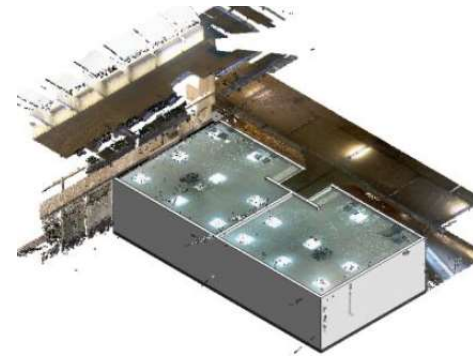


(42)



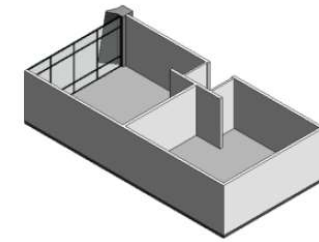
(43)

**Imagem 42:** foto da etapa de escaneamento de edifício educacional, com escâner apoiado em tripé, em que os objetos de captura foram duas salas de aula contíguas (mesmo objeto mencionado no exemplo 5 da fotogrametria). Não houve uso de marcadores. Foram capturadas 8 cenas em menos de 40 minutos (contexto de ensino do uso da máquina). **Imagem 43:** nuvem de pontos gerada. Nota-se que o prédio está bem representado no geral. Fonte: a autora.



(44)

**Imagem 44:** nuvem de pontos gerada conseguiu representar superfícies internas suficientemente, possibilitando modelagem BIM simplificada. **Imagem 45:** modelo BIM simplificado, com geometria espacial de piso, paredes, caixilharia. Fonte: a autora.



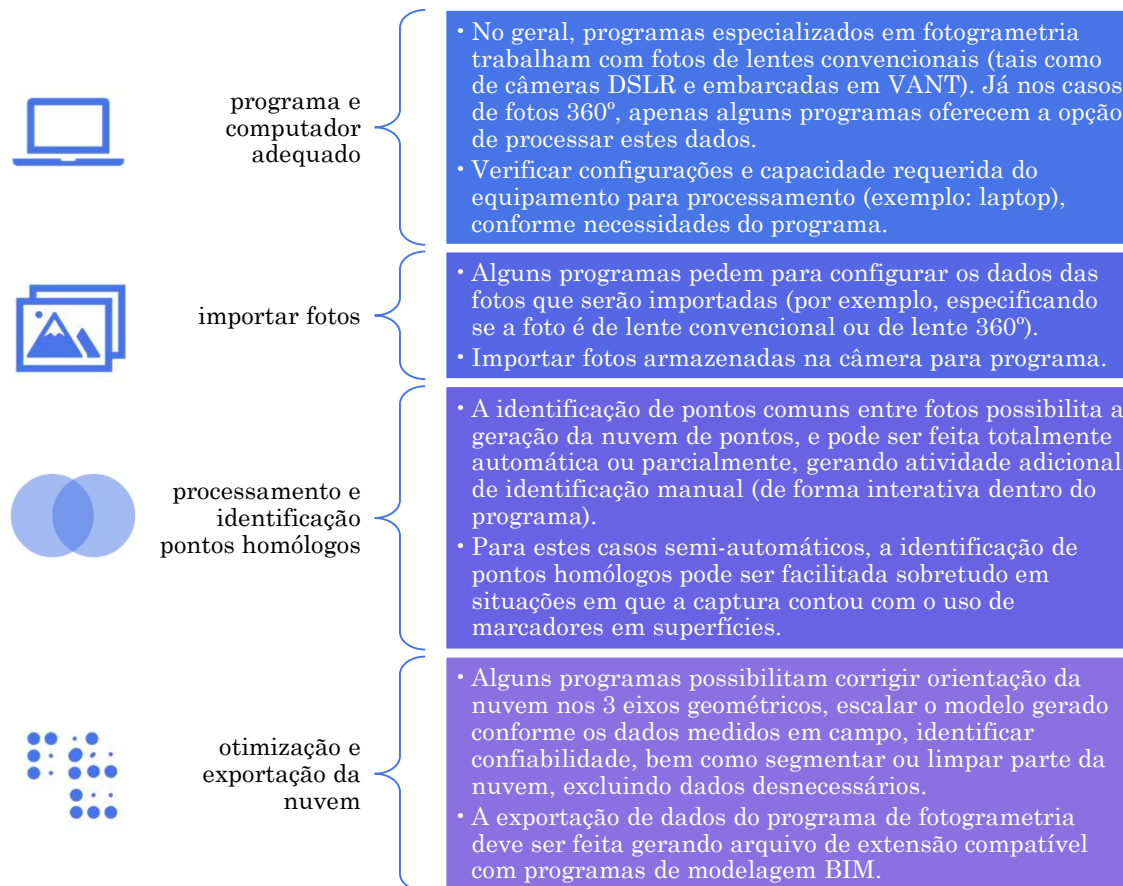
(45)



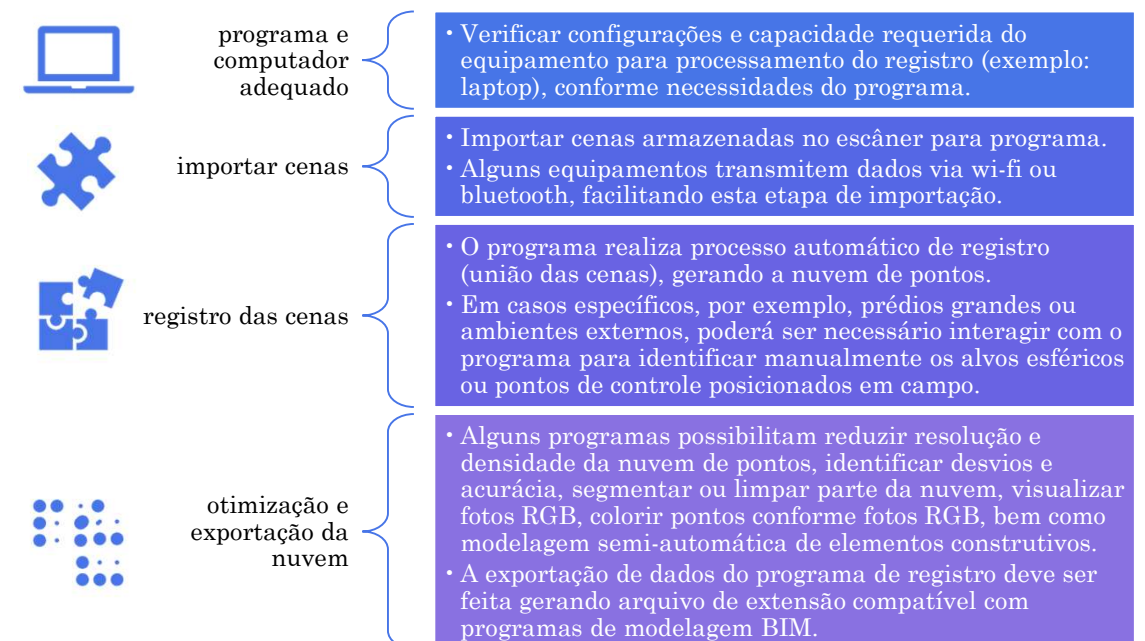
# 4 Técnicas de processamento de dados

## Fotogrametria / Registro de cenas com equipamento a laser

Uma vez que os dados foram coletados em campo, o próximo passo é processá-los com apoio de programas computacionais. No caso das **tomadas fotográficas**, sejam estas feitas com lentes convencionais ou lentes esféricas, os programas computacionais especializados em **fotogrametria** poderão gerar produtos, como nuvem de pontos. Abaixo estão descritos os processos e boas práticas de processamento. Um exemplo de programa é o Agisoft Metashape; outros são o Reality Capture, Pix4Dmapper, Meshroom etc.



No caso dos **escaneamentos a laser**, os programas computacionais especializados em **registro (união das cenas)** poderão gerar produtos, como nuvem de pontos. Abaixo estão descritos os processos e boas práticas de processamento. Um exemplo de programa é o Autodesk Recap, que recebe dados de diversos equipamentos (marcas e modelos). Contudo, existem escâneres com limitação de programa, permitindo o uso do dado apenas no *software* da marca destes equipamentos.



# 5 Modelagem BIM

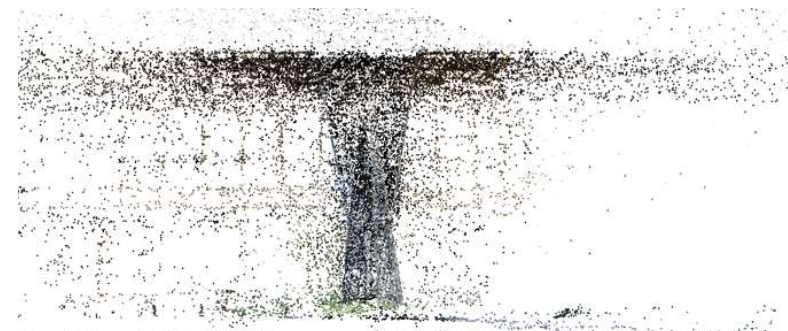
## Modelagem BIM com base em nuvem de pontos

Com base na nuvem de pontos gerada pelos processos de fotogrametria ou escaneamento a laser, é possível modelar o edifício existente seguindo a metodologia BIM.

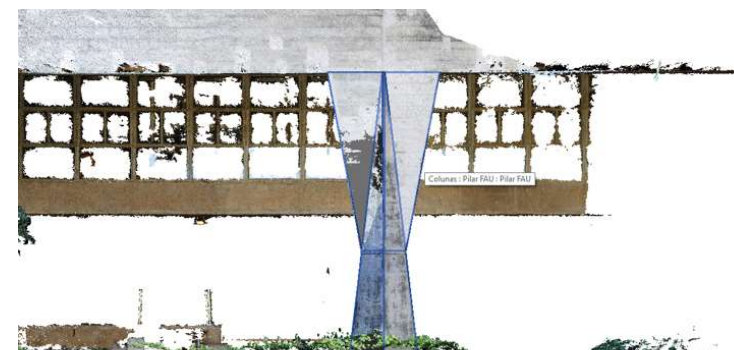
Contudo, cabe ressaltar que a modelagem pode variar bastante em relação a alguns parâmetros, como o objetivo do uso do modelo, a definição de nível de detalhamento e de desenvolvimento (LOD), de evolução de projeto (NEP), bem como o resultado real atingido na captura, considerando suas limitações técnicas.

A metodologia de modelagem com base na nuvem de pontos pode ser manual ou semi-automática. No caso manual, a interação do usuário terá foco em identificar os pontos da nuvem e representar os componentes construtivos no programa BIM. Nos processos semi-automáticos, visa-se a facilitação da identificação dos pontos, em que programas e plug-ins (como o *Faro PointSense* - substituído posteriormente por nova versão e nome, *As-Built for Autodesk Revit*) tentam criar regras e algoritmos (exemplos: este conjunto de pontos é um plano; paredes são superfícies verticais e pisos, horizontais). Um dos desafios da automatização é representar a realidade de superfícies, considerando construções imperfeitas (paredes irregulares e não planas, por exemplo).

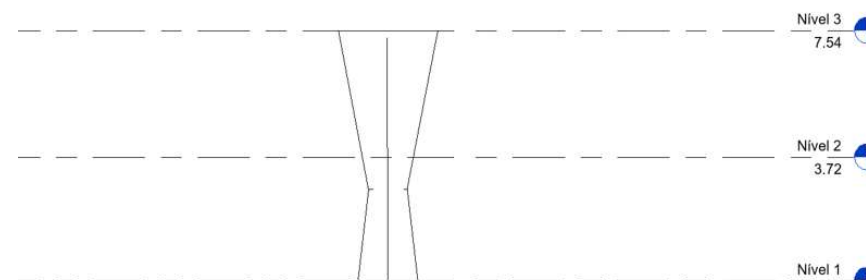
**Imagem 46:** nuvem de pontos esparsa (superior). **Imagem 47:** nuvem densa. **Imagem 48:** modelo BIM.  
Fonte: a autora.



(46)



(47)



(48)

# 6 Plano de execução

## Projetando a jornada

O Plano de Execução BIM tem a função de definir os objetivos, os produtos desejados do projeto (os entregáveis e os níveis de desenvolvimento LOD), bem como as etapas de trabalho, os usos BIM esperados, as ferramentas a serem utilizadas, os responsáveis e a capacitação profissional dos membros do time e as formas de comunicação. Referências relevantes sobre o tema são: Manzione et al. (2021) e ABNT NBR ISO 19650-1.

### Plano BIM para projetos de reforma

**Objetivos e usos da modelagem:** neste tópico, o gestor do projeto poderá estabelecer metas do empreendimento (objetivos da reabilitação, como a recuperação de patologias, adaptação do espaço para novos usos, melhoria da eficiência energética etc.) e também da coordenação do projeto (por exemplo, antecipação de obtenção de dados do edifício existente, mitigando problemas causados por falta de informação). Neste tópico, pode ser mencionado como o modelo será usado (usos BIM pretendidos), por exemplo, para modelagem das condições existentes, análises de arquitetura e engenharia, modelagem de reforma, uso do modelo para orçamentos e quantitativos, uso do modelo para manutenção predial programada.

**Etapas de trabalho, metodologia BIM, comunicação:** nesta seção, o objetivo é definir o processo de projeto e modelagem, detalhando como serão feitos os subprocessos. O tópico buscará amarrar outros, tais como os entregáveis, a infraestrutura tecnológica, as formas de comunicação e a capacidade profissional de cada responsável destacado. Será mostrada a sequência das etapas e suas relações, identificando os modelos BIM esperados para cada uma das fases. As formas de comunicação e métodos de troca de informação serão propostos, contendo os escopos entregáveis, responsáveis por cada um deles e suas respectivas frequências e datas conforme cronograma, ciclos de verificação e de coordenação de projeto.

**Escopo dos entregáveis e LOD:** nesta parte, o gestor do projeto poderá detalhar as informações esperadas para cada entregável, estabelecendo, por exemplo, o nível de detalhamento e desenvolvimento de cada etapa de projeto estabelecida no plano.

No contexto de projetos de captura e processamento de dados, bem como para modelagem BIM que servirá como base para projetos de reabilitação e reforma, o Plano de Execução BIM poderia ser feito com base na seguinte estrutura, que é uma organização básica de assuntos e temas a serem detalhados conforme a especificidade de cada projeto.

**Ferramentas e infraestrutura necessária:** serão estabelecidas as metodologias e os equipamentos a serem usados para a captura de dados do edifício existente, compatíveis com os escopos, usos pretendidos da modelagem e os objetivos do projeto. Poderão ser indicados os programas computacionais necessários para os processos de fotogrametria e registro do escaneamento, bem como os programas de modelagem a serem utilizados. Além disso, serão definidos os procedimentos de comunicação entre os membros do time, a forma de colaboração (ambiente comum de dados), a gestão de arquivos e documentos (estrutura de pastas, permissões e acesso, extensões etc).

**Responsáveis e capacitação profissional:** poderá ser feita uma matriz de responsabilidades associado a cada uso BIM pretendido. Também será definido nesta seção o requisito de capacitação profissional de cada membro da equipe, de forma compatível com o nível de conhecimento técnico esperado, com os objetivos do trabalho e com os entregáveis.

**Procedimentos de controle de qualidade:** definição de processos de verificação, análise crítica e validação em cada etapa de trabalho, adequados a cada entregável proposto. Os modelos serão verificados em relação ao seu conteúdo, nível de informação necessário, formato (extensão).



# Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 19650: ORGANIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO ACERCA DE TRABALHOS DA CONSTRUÇÃO - GESTÃO DA INFORMAÇÃO USANDO A MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO – Parte 1: Conceitos e princípios**. Rio de Janeiro, 2022.

ATLANTIC LASER SCANNING. **FARO Sphere Targets**. Disponível em: <https://atlanticlaser-scanning.com/atlanticlaser-scan/faro-sphere-targets-for-sale-1000-with-carry-case>. Acesso em: 11 set. 2022.

BARAZZETTI, L.; PREVITALI, M.; RONCORONI, F. 3D Modelling with the Samsung Gear 360. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Volume XLII-2/W3, 2017, 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, 1–3 March 2017, Nafplio, Greece, p. 85-90.

BARAZZETTI, L.; PREVITALI, M.; RONCORONI, F. Can we use low-cost 360 degree cameras to create accurate 3D models? **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Volume

XLII-2, 2018 ISPRS TC II Mid-term Symposium “Towards Photogrammetry 2020”, 4–7 June 2018, Riva del Garda, Italy, p. 69-75.

CANON. **Câmera EOS Rebel T100 com Lente EF-S 18-55mm f/3.5-5.6 III**. Disponível em: <https://www.canon.com.br/produtos/produtos-para-voce---cameras---linha-eos---dslr/eos-rebel-t100>. Acesso em: 07 set. 2020.

CONECTA. **Medição em obras**. Disponível em: <http://conecta.fg.com.br/trenas-a-laser/>. Acesso em: 19 abr. 2020.

DEZEN-KEMPTER, E.; SOIBELMAN, L.; CHEN, M.; MULLER FILHO, A. Escaneamento 3D a laser, fotogrametria e modelagem da informação da construção para gestão e operação de edificações históricas. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, 10 (2), 113-124. <https://doi.org/10.11606/gtp.v10i2.102710>

DJI. **DJI Mavic Pro**. Disponível em: <https://www.dji.com/br/mavic>. Acesso em: 13 set. 2020.

EBRAHIM, M. **3D laser scanners: history, applications, and future**. Assiut University: Egípt, 2011.

FANGI, G.; NARDINOCCHI, C. Photogrammetric Processing of Spherical Panoramas. **Remote Sensing and Photogrammetry Society, The Photogrammetric Record**, 28 (143): 293-311 (September 2013).

FARO. **Faro Focus**. Disponível em: <https://www.faro.com/pt-BR/Products/Hardware/Focus-Laser-Scanners>. Acesso em: 14 set. 2020.

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

GROETELAARS, N. J., AMORIM, A. L. Tecnologia 3D Laser Scanning: características, processos e ferramentas para manipulação de nuvem de pontos. In: CONGRESSO SIGRADI, XV, 2011, Santa Fé, Argentina. **Anais**, Santa Fé: Sigradi, 2011. p. 1 - 5.

GROETELAARS, N. J., AMORIM, A. L. Dense Stereo Matching (DSM): conceitos, processos e ferramentas para criação de nuvem de pontos por fotografias. In: CONGRESSO SIGRADI, XVI, 2012, Fortaleza, Brasil. **Anais**, Fortaleza: Sigradi, 2012. p. 361 - 365.

INSTA360. **Insta 360 One X**. Disponível em: <https://www.insta360.com/es/product/insta360->

[onex/](#). Acesso em: 13 set. 2020.

KLEIN, L.; LI, N.; BECERIK-GERBER, B. Imaged-based verification of as-built documentation of operational buildings. **Automation in Construction**, v. 21, p. 161-171, 2012.

LEICA. **Leica BLK360**. Disponível em: <https://leica-geosystems.com/pt-br/products/laser-scanners/scanners/blk360>. Acesso em: 14 set. 2020.

MANZIONE, L.; MELHADO, S.; NÓBREGA JR., C. **BIM e Inovação em Gestão de Projetos: de acordo com a norma ISO 19650**. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

NASA. **Space Launch System Solid Rocket Boosters ‘on Target’ for First Flight**. Disponível em: <https://www.nasa.gov/exploration/systems/sls/space-launch-system-solid-rocket-boosters-on-target-for-first-flight.html>. Acesso em: 11 set. 2022.

TRIMBLE. **Trimble TX6**. Disponível em: <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-tx6>. Acesso em: 06 jun. 2021.

TRIMBLE. **Trimble TX8**. Disponível em: <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-tx8>. Acesso em: 07 ago. 2022.

# Agradecimentos

Agradecimentos especiais ao Prof. Dr. Eduardo Toledo Santos pela orientação nesta pesquisa, pela indicação de referências, eventos e informações essenciais ao desenvolvimento do trabalho.

Agradeço também à Universidade de São Paulo e à Escola Politécnica, composto pelo corpo docente e pelos funcionários que forneceram auxílio durante toda a jornada da pesquisa, em especial ao Prof. Dr. Fabiano Rogerio Corrêa, que apoiou experimentos em campo.

Reconhecimento e gratidão aos professores e profissionais que apoiaram este projeto, em destaque, a Prof<sup>a</sup> Fabiana Oliveira, a Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natalie Groetelaars e o Prof. Dr. Silvio Melhado, que forneceram essencial contribuição nas bancas, e os colegas pesquisadores, tais como Julio César Franco Jr., que organizaram eventos acadêmicos voltados à experimentação em campo com uso de ferramentas que foram objetos desta

pesquisa.

Agradecimentos também às empresas parceiras, como a Trimble, que apoia a Escola Politécnica através do incentivo à educação baseada em tecnologia e da disponibilização de recursos de escaneamento a laser (equipamentos e programas cedidos), e à Construtivo, que auxiliou a pesquisa executando testes em campo.

Por fim, agradecimentos especiais pelo apoio de minha família – Antonio, Vanda, Clarissa e Guilherme – e de meus amigos arquitetos e engenheiros, que contribuíram de diversas formas para que a pesquisa tivesse sucesso, em especial Paola, Yukari, Tatiane, Rodrigo, Sarah, Rodolfo e Bashir.

Agradeço a Deus por todo suporte.

# Glossário de siglas

AECO - Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação

BIM - *Building Information Modelling*

DSLR - *Digital Single Lens Reflex*

RGB - *Red, Green and Blue*

TIN - *Triangular Irregular Network*

VANT - *Veículos Aéreos Não Tripulados*



