

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Escola de Arquitetura**  
**Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio**  
**Sustentável**

Ciro Junior Martins Ribeiro

**ESTUDO COMPARATIVO DE MÉTODOS DIGITAIS DE CAPTURA DE**  
**REALIDADE PARA LEVANTAMENTO CADASTRAL DE EDIFICAÇÕES**  
**HISTÓRICAS**

Belo Horizonte  
2023

Ciro Junior Martins Ribeiro

**ESTUDO COMPARATIVO DE MÉTODOS DIGITAIS DE CAPTURA DE  
REALIDADE PARA LEVANTAMENTO CADASTRAL DE EDIFICAÇÕES  
HISTÓRICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável.

Orientadora: Profa. Dra. Cynara Fiedler Bremer

Belo Horizonte

2023

### FICHA CATALOGRÁFICA

R484e Ribeiro, Ciro Junior Martins.  
Estudo comparativo de métodos digitais de captura de realidade para levantamento cadastral de edificações históricas [recurso eletrônico] / Ciro Junior Martins Ribeiro. – 2023.

1 recurso online (167 p. : il.).  
Orientadora: Cynara Fiedler Bremer.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

1. Preservação digital – Teses. 2. Edifícios históricos – Teses. 3. Fotogrametria – Teses. 4. Modelagem de informações – Teses. I. Bremer, Cynara Fiedler. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. III. Título.

CDD 351.80981



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE ARQUITETURA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
AMBIENTE CONSTRUÍDO E PATRIMÔNIO SUSTENTÁVEL

## FOLHA DE APROVAÇÃO

**"Comparativo entre Métodos Digitais de Captura de Realidade: Modelagem da Informação e Levantamento Cadastral de Edificações Históricas"**

**CIRO JUNIOR MARTINS RIBEIRO**

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, no dia **sete de março de dois mil e vinte e três**, pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

**Profa. Dra. Ana Regina Mizrahy Cuperschmid**

Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

**Profa. Dra. Natalie Johanna Groetelaars**

Universidade Federal da Bahia (UFBA)

**Profa. Dra. Renata Maria Abrantes Baracho Porto**

Escola de Arquitetura/UFMG

**Profa. Dra. Cynara Fiedler Bremer - Orientadora**

PPG-ACPS/UFMG

Belo Horizonte, 07 de março de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Renata Maria Abrantes Baracho Porto, Professora do Magistério Superior**, em 12/03/2023, às 17:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Natalie Johanna Groetelaars, Usuária Externa**, em 05/07/2023, às 16:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ana Regina Mizrahy Cuperschmid, Usuário Externo**, em 28/11/2023, às 16:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Cynara Fiedler Bremer, Subcoordenador(a)**, em 26/12/2023, às 16:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **2124720** e o código CRC **AE5541A7**.

---

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço imensamente à todes que de alguma forma tornaram a pesquisa possível ou colaboraram para o conhecimento obtido no processo de construção dela nestes anos. Em especial aos que foram sempre gentis em fornecer seu tempo, atenção e conhecimento: Fred Hoppe, Ana Cuperschmid, Lucas Cosendey, Juliana Parreiras, e Núcleo de Memória e Restauro do Espaço Comum Luiz Estrela.

## RESUMO

As formas de representação dos projetos de arquitetura e das edificações estão em constante evolução, guiados pelas necessidades das épocas e das técnicas disponíveis. O cadastro documental do patrimônio construído, além de garantir a preservação da memória e da história, é instrumento importante para quem se propõe a intervenções nos bens. Além disso, é viabilizador de uma compreensão mais acurada sobre as evoluções sucedidas no “organismo arquitetônico”, nas estruturas e em toda a complexidade da edificação, superando a esfera material e tangível. A documentação dos bens culturais frequentemente se apresenta em uma deficiente heterogeneidade de formatos e de acessos, ou até mesmo na ausência de informações sobre o bem. Existe uma demanda de melhoria nas metodologias de documentação do patrimônio construído, e outra de eficiência e eficácia nos métodos de levantamento e projetos com modelos complexos. Em contrapartida às problemáticas expostas, o Patrimônio Digital e as técnicas digitais de captura de realidade surgem para apresentar possíveis soluções para muitas destas questões, tornando os processos de documentação mais rápidos, mais acessíveis e mais completos. Os métodos digitais de captura de realidade são potencializadores de qualidade no processo de construção e na qualidade dos produtos finais dos levantamentos cadastrais do patrimônio construído. Apesar disso, possuem ainda estrita divulgação (prática e teórica) sobre aspectos detalhados destes métodos. Ainda que se tenha conhecimento da existência e eficiência, e ainda que se queira tirar proveito para um ganho processual e qualitativo, a própria escolha do método pode se confundir nas opções metodológicas por falta de conhecimento dos detalhes e características de cada uma. A presente pesquisa experimental tem a finalidade de comparar métodos de captura de realidade. No primeiro momento, a comparação é feita entre a fotogrametria – mais especificamente o DSM -, e o escaneamento terrestre a *laser*. Em um segundo momento, compara-se a fotogrametria com um dispositivo portátil com sensor *Lidar*. Nos experimentos comparativos feitos, pode-se perceber uma grande quantidade de variáveis a serem analisadas simultaneamente para a definição da qualidade final de cada um. Os métodos apresentam vantagens e carências bastante específicas que influenciam diretamente nas características do produto final, e no nível de controle que se pode ter do processo de utilização deles para a captura.

**Palavras-chave:** captura de realidade; patrimônio digital; fotogrametria; escaneamento a laser; levantamento cadastral; HBIM

## ABSTRACT

The forms of representation of architectural projects and buildings are in constant evolution, guided by the needs of the times and available techniques. The documental record of the built heritage, in addition to guaranteeing the preservation of memory and history, is an important instrument for those who intend to intervene in the heritage asset. In addition, it enables a more accurate understanding of the evolutions that occurred in the “architectural organism”, in the structures and in all the complexity of the building, surpassing the material and tangible sphere. The documentation of cultural assets often presents itself in a deficient heterogeneity of formats and accesses, or even in the absence of information about the asset. There is a demand for improvement in built heritage document methodologies, and another for efficiency and effectiveness in survey methods and projects with complex models. Corresponding to the exposed issues, Digital Heritage and digital reality capture techniques emerge to present possible solutions to many of these issues, making document processes faster, more accessible and more complete. The digital reality capture methods enhance the quality of the construction process and the quality of the final products from cadastral surveys of built heritage. Despite this, there is still strict disclosure (practical and theoretical) about detailed aspects of these methods. Even if one is aware of its existence and efficiency, and even if one wants to take advantage of it for a procedural and qualitative gain, the very choice of the method can be confused in the methodological options due to lack of knowledge of the details and characteristics of each one. This experimental research aims to compare reality capture methods. At first, the comparison is made between photogrammetry – more specifically the DSM -, and terrestrial laser scanning. In a second moment, compare the photogrammetry with a portable device with Lidar sensor. In the comparative experiments carried out, a large number of variables can be analyzed simultaneously in order to define the final quality of each one. The methods have very specific advantages and disadvantages that directly influence the characteristics of the final product, and the level of control that can be had in the process of using them for capture.

**Keywords:** reality capture; digital heritage; photogrammetry; laser scanning; cadastral survey; HBIM



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema ilustrativo da modelagem 3D de edifício com os cinco LODs definidos.....	40
Figura 2 - Esquema ilustrativo demonstrando os LOD em um objeto hipotético – um galpão em estrutura metálica. Fonte: BIMForum, 2021. ....	40
Figura 3 - Descrição comparativa do tipo de informação devida à um modelo BIM para novas edificações e um modelo HBIM. ....	41
Figura 4 – Ilustrações exemplos de tomada fotográfica em diferentes situações: (a) monorrestituição; (b) estereorestituição; (c) restituição de múltiplas fotografias convergentes. ....	53
Figura 5 – Esquema ilustrativo exemplificando a posição de tomadas fotográficas para restituição por (a) fotografias paralelas com angulação entre si e (b) fotografias paralelas.....	54
Figura 6 - Esquema ilustrativo exemplificando o direcionamento das tomadas fotográficas para restituição em (a) captura externa e (b) captura interna. ....	54
Figura 7 – Laser scanners da marca Leica - BLK360, RTC360 e ScanStation P50..	58
Figura 8 - Cadeia Velha em 2005. Fonte: Ficha de Inventário de Proteção do Acervo Cultural da Prefeitura Municipal de Conceição do Mato Dentro, 2005.....	66
Figura 9 - Cadeia Velha em 2023.....	66
Figura 10 - Antiga Casa de Força e Luz em 1999. Fonte: Ficha de Inventário de Proteção do Acervo Cultural do Conselho Municipal do Patrimônio Cultural de Conceição do Mato Dentro, 1999.....	68
Figura 11 - Antiga Casa de Força e Luz em 2021.....	68
Figura 12 - Antiga Casa de Força e Luz em 2023.....	69
Figura 13 – Fotografia comercial do scanner Leica RTC 360. ....	70
Figura 14 – Mapa de posicionamento de varreduras do escaneamento a <i>laser</i> da Cadeia Velha, no <i>software Autodesk Recap</i> . ....	71
Figura 15 - Visualização da nuvem de pontos completa vista de um dos pontos de varredura, da Cadeia Velha, no <i>software Autodesk Recap</i> . ....	72

Figura 16 - Mapa de posicionamento de varreduras do escaneamento a <i>laser</i> da antiga Casa de Força e Luz, no <i>software Autodesk Recap</i> . .....	72
Figura 17 - Visualização da nuvem de pontos completa vista de um dos pontos de varredura, da antiga Casa de Força e Luz, no <i>software Autodesk Recap</i> . .....	73
Figura 18 – Câmera <i>Sony DSC-HX300</i> .....	74
Figura 19 – Tomada fotográfica na Cadeia Velha em Conceição do Mato Dentro--MG. ....	74
Figura 20 – Tomada fotográfica na antiga Casa de Força e Luz em Conceição do Mato Dentro-MG.....	75
Figura 21 - (a) Ilustração genérica do planejamento de tomada fotográfica na Cadeia Velha; (b) Ilustração genérica do planejamento de tomada fotográfica na antiga Casa de Força e Luz; (c) Ilustração genérica vertical da tomada fotográfica. ....	76
Figura 22 – Mapa de posicionamento das tomadas fotográficas para restituição fotogramétrica na Cadeia Velha, no <i>software RealityCapture</i> .....	77
Figura 23 – Nuvem de pontos da restituição fotogramétrica na Cadeia Velha, mostrando o posicionamento das tomadas fotográficas, no <i>software RealityCapture</i> . ....	77
Figura 24 – Nuvem de pontos da restituição fotogramétrica na Cadeia Velha, mostrando o posicionamento das tomadas fotográficas, no <i>software RealityCapture</i> . ....	78
Figura 25 – Nuvem de pontos da restituição fotogramétrica na Cadeia Velha, mostrando o posicionamento das tomadas fotográficas, no <i>software RealityCapture</i> . ....	79
Figura 26 – Painel de controle do <i>RealityCapture</i> no arquivo do modelo da Cadeia Velha, demonstrando um <i>workflow</i> com 354 imagens de entrada, onde (a) sem pontos de controle, com 3 componentes; (b) com 4 pontos de controle, apenas 1 componente, 346 fotografias alinhadas; (c) 19 pontos de controle, 1 distância, 1 componente, 353 fotografias alinhadas. ....	82
Figura 27 – Mapa de posicionamento das tomadas fotográficas para restituição fotogramétrica na antiga Casa de Força e Luz, no <i>software RealityCapture</i> . ....	83

Figura 28 – Nuvem de pontos da restituição fotogramétrica na antiga Casa de Força e Luz, mostrando o posicionamento das tomadas fotográficas, no <i>software RealityCapture</i> . .....	84
Figura 29 - Painel de controle do <i>RealityCapture</i> no arquivo do modelo da antiga Casa de Força e Luz, demonstrando um <i>workflow</i> com 145 imagens de entrada e dois pontos de controle. ....	84
Figura 30 – Nuvem de pontos da antiga Casa de Força e Luz demonstrando os dois pontos de controle e dimensão de controle adicionados. ....	85
Figura 31 – Perspectivas da nuvem de pontos da Cadeia Velha, oriunda do escaneamento a <i>laser</i> , com marcação em vermelho dos pontos de medição para aferição de precisão. ....	92
Figura 32 – Perspectiva da nuvem de pontos da Cadeia Velha, oriunda do escaneamento a <i>laser</i> , com marcação das dimensões 4, 5 e 6 para aferição de precisão. ....	93
Figura 33 – Perspectiva da nuvem de pontos da Cadeia Velha, oriunda da restituição fotogramétrica, com marcação das dimensões 4, 5 e 6 para aferição de precisão. .	93
Figura 34 – Perspectiva da nuvem de pontos da Cadeia Velha, oriunda do escaneamento a <i>laser</i> , com marcação da dimensão 7 para aferição de precisão. ..	94
Figura 35 - Perspectiva da nuvem de pontos da Cadeia Velha, oriunda da restituição fotogramétrica, com marcação da dimensão 7 para aferição de precisão. ....	94
Figura 36 – Perspectivas da nuvem de pontos da Cadeia Velha, oriunda do escaneamento a <i>laser</i> , com marcação das dimensões 1 e 3 para aferição de precisão. ....	95
Figura 37 - Perspectivas da nuvem de pontos da Cadeia Velha, oriunda da restituição fotogramétrica, com marcação das dimensões 1 e 3 para aferição de precisão. ...	95
Figura 38 – Perspectiva da nuvem de pontos da Cadeia Velha, oriunda do escaneamento a <i>laser</i> , com marcação da dimensão 2 para aferição de precisão. ..	96
Figura 39 - Perspectiva da nuvem de pontos da Cadeia Velha, oriunda da restituição fotogramétrica, com marcação da dimensão 2 para aferição de precisão. ....	96

Figura 40 - Perspectiva da nuvem de pontos da antiga Casa de Força e Luz, oriunda do escaneamento a <i>laser</i> , com marcação de dimensões para aferição de precisão. .....	98
Figura 41 - Perspectiva da nuvem de pontos da antiga Casa de Força e Luz, oriunda da restituição fotogramétrica, com marcação de dimensões para aferição de precisão. .....	98
Figura 42 – Ilustrações dos desenhos dos perímetros da Cadeia Velha, feitas a partir das nuvens de pontos oriundas de: (a) restituição fotogramétrica, (b) escaneamento a <i>laser</i> , e (c) sobreposição de ambas. ....	100
Figura 43 – Ilustração do processo de desenho de linhas a partir de seções na nuvem de pontos, no <i>software Autodesk Civil 3D</i> . ....	100
Figura 44 – Perspectivas das nuvens de pontos da Cadeia Velha, oriundas de: (a) restituição fotogramétrica, e (b) escaneamento a <i>laser</i> . ....	101
Figura 45 – Elevações de fachada das nuvens de pontos da Cadeia Velha, oriundas de: (a) restituição fotogramétrica, e (b) escaneamento a <i>laser</i> . ....	101
Figura 46 - Elevações de fachada das nuvens de pontos da antiga Casa de Força e Luz, oriundas de: (a) restituição fotogramétrica, e (b) escaneamento a <i>laser</i> . ....	102
Figura 47 – Perspectivas de fachada das malhas triangulares irregulares da antiga Casa de Força e Luz, oriundas de: (a) restituição fotogramétrica, e (b) escaneamento a <i>laser</i> . ....	103
Figura 48 - Perspectivas ampliadas de fachada das malhas triangulares irregulares da antiga Casa de Força e Luz, oriundas de: (a) restituição fotogramétrica, e (b) escaneamento a <i>laser</i> . ....	103
Figura 49 - Perspectivas ampliadas de fachada das nuvens de pontos da antiga Casa de Força e Luz, oriundas de: (a) restituição fotogramétrica, e (b) escaneamento a <i>laser</i> , com marcação em vermelho de região onde a luz direta provocou sombra no momento da captura. ....	105
Figura 50 - Fotografia da fachada frontal da edificação na época em que foi construído, com o uso de Hospital Militar. ....	109
Figura 51 - Fachada frontal da edificação. ....	109

Figura 52 - Aerofotografia do imóvel, que contém a porção coberta pelo telhado cerâmico à direita da fotografia e seu centro, a porção coberta pelo telhado de amianto mais à esquerda da fotografia, e o pátio descoberto mostrada na parte superior da fotografia. ....	110
Figura 53 – Planta esquemática do 1º pavimento com marcação em rosa da porção utilizada para o presente estudo. Fonte: autor, 2022. ....	111
Figura 54 - Planta esquemática do 2º pavimento com marcação em rosa da porção utilizada para o presente estudo. Fonte: autor, 2022. ....	111
Figura 55 - Fachada frontal e hall central da edificação. ....	112
Figura 56 – Vistas (opostas) do hall central da edificação. ....	112
Figura 57 – <i>Workflow</i> do aplicativo Scaniverse. (a) Tela de definição do alcance; (b) Tela de escaneamento; (c) Tela de definição do modo de processamento; (d) Tela de processamento em andamento; (e) Tela do processamento completo; (f) Tela de edição pós processamento; (g) Tela de corte e rotação; (h) Tela de compartilhamento; (i) Tela de exportação. ....	114
Figura 58 – Perspectiva isométrica da nuvem de pontos capturada pelo aplicativo <i>Scaniverse</i> , no <i>software Autodesk Recap</i> . ....	117
Figura 59 - Perspectiva da nuvem de pontos capturada pelo aplicativo <i>Scaniverse</i> , no <i>software Autodesk Recap</i> . ....	117
Figura 60 - Perspectiva isométrica da nuvem de pontos capturada pelo aplicativo <i>Scaniverse</i> , com seção horizontal no 1º pavimento, no <i>software Autodesk Recap</i> . ....	118
Figura 61 - Perspectiva isométrica da nuvem de pontos capturada pelo aplicativo <i>Scaniverse</i> , com seção horizontal no 2º pavimento, no <i>software Autodesk Recap</i> . ....	118
Figura 62 - Perspectiva isométrica da nuvem de pontos capturada pelo aplicativo <i>Scaniverse</i> , com seção vertical transversal, no <i>software Autodesk Recap</i> . ....	119
Figura 63 - Nuvem de pontos da restituição fotogramétrica do ECLE, mostrando o posicionamento das tomadas fotográficas, no <i>software RealityCapture</i> . ....	120

Figura 64 - Nuvem de pontos da restituição fotogramétrica do ECLE, mostrando o posicionamento das tomadas fotográficas, no <i>software RealityCapture</i> . .....	121
Figura 65 - Painel de controle do <i>RealityCapture</i> no arquivo do modelo do ECLE, demonstrando um <i>workflow</i> com 832 imagens de entrada e 6 pontos de controle. ....	121
Figura 66 - Nuvem de pontos do ECLE demonstrando 4 pontos de controle adicionados. ....	122
Figura 67 - Nuvem de pontos do ECLE demonstrando 2 pontos de controle e dimensão de controle adicionados. ....	122
Figura 68 - Perspectiva isométrica da nuvem de pontos obtida por restituição fotogramétrica, no <i>software Autodesk Recap</i> .....	123
Figura 69 - Perspectiva da nuvem de pontos obtida por restituição fotogramétrica, no <i>software Autodesk Recap</i> .....	123
Figura 70 - Perspectiva isométrica da nuvem de pontos obtida por restituição fotogramétrica, com seção horizontal no 1º pavimento, no <i>software Autodesk Recap</i> . ....	124
Figura 71 – Perspectiva isométrica da nuvem de pontos obtida por restituição fotogramétrica, com seção horizontal no 2º pavimento, no <i>software Autodesk Recap</i> . ....	124
Figura 72 - Perspectiva isométrica da nuvem de pontos obtida por restituição fotogramétrica, com seção vertical transversal, no <i>software Autodesk Recap</i> . .....	125
Figura 73 - Perspectivas isométricas externas do ECLE nas nuvens de pontos obtidas por (a) restituição fotogramétrica e (b) escaneamento com Lidar portátil, ilustrando a comparação entre os níveis de densidade dos pontos. ....	132
Figura 74 – Seções horizontais do hall de entrada e hall central do ECLE nas nuvens de pontos obtidas por (a) restituição fotogramétrica e (b) escaneamento com <i>Lidar</i> portátil, ilustrando a comparação entre os níveis de densidade dos pontos. ....	132
Figura 75 - Perspectivas internas do hall central do ECLE nas nuvens de pontos obtidas por (a) restituição fotogramétrica e (b) escaneamento com Lidar portátil, ilustrando a comparação entre os níveis de densidade dos pontos. ....	133

Figura 76 - Ortofotos da fachada frontal do ECLE no modelo de malha triangular irregular texturizada obtidas por (a) restituição fotogramétrica e (b) escaneamento com <i>Lidar</i> portátil.....	134
Figura 77 – Perspectivas externas de parte das fachadas frontal e lateral direita do ECLE no modelo de malha triangular irregular texturizada obtidas por (a) restituição fotogramétrica e (b) escaneamento com Lidar portátil. ....	135
Figura 78 – Seção horizontal do 1º pavimento do ECLE na nuvem de pontos obtida por restituição fotogramétrica, com marcação das dimensões 1, 2, 5 e 7 para aferição de precisão. ....	136
Figura 79 – Seção horizontal do 2º pavimento do ECLE na nuvem de pontos obtida por restituição fotogramétrica, com marcação da dimensão 9 para aferição de precisão, e dimensão de referência utilizada para o controle de escala do modelo. ....	136
Figura 80 – Perspectiva seccionada do ECLE na nuvem de pontos obtida por restituição fotogramétrica, com marcação das dimensões 3, 4 e 10 para aferição de precisão. ....	137
Figura 81 – Perspectiva seccionada do ECLE na nuvem de pontos obtida por restituição fotogramétrica, com marcação das dimensões 6 e 8 para aferição de precisão. ....	137
Figura 82 – Seção horizontal do hall lateral do ECLE na nuvem de pontos obtida por (a) restituição fotogramétrica e (b) escaneamento com Lidar portátil, com marcação das dimensões 1 e 2 para aferição de precisão.....	138
Figura 83 - Elevação do hall lateral do ECLE na nuvem de pontos obtida por (a) restituição fotogramétrica e (b) escaneamento com Lidar portátil, com marcação da dimensão 3 para aferição de precisão. ....	139
Figura 84 – Elevações do hall central do ECLE na nuvem de pontos obtida por (a) restituição fotogramétrica e (b) escaneamento com <i>Lidar</i> portátil, com marcação das dimensões 5 e 6 para aferição de precisão.....	140
Figura 85 – Elevações do hall central do ECLE na nuvem de pontos obtida por (a) restituição fotogramétrica e (b) escaneamento com <i>Lidar</i> portátil, com marcação das dimensões 7 e 8 para aferição de precisão.....	141

Figura 86 – Elevações do pilar de suporte do balcão do hall central do ECLE na nuvem de pontos obtida por (a) restituição fotogramétrica e (b) escaneamento com Lidar portátil, com marcação da dimensão 4 para aferição de precisão. ....	141
Figura 87 - Elevações do balcão no 2º pavimento do ECLE na nuvem de pontos obtida por (a) restituição fotogramétrica e (b) escaneamento com <i>Lidar</i> portátil, com marcação das dimensões 9 e 10 para aferição de precisão. ....	142
Figura 88 – Ilustração de seções horizontais em paredes do 2º pavimento do ECLE, feitas a partir das nuvens de pontos de: (a) restituição fotogramétrica e (b) escaneamento com <i>Lidar</i> portátil. ....	144
Figura 89 — Ilustrações dos desenhos de seção horizontal do 1º pavimento do ECLE, feitas a partir das nuvens de pontos oriundas de: (a) restituição fotogramétrica, (b) escaneamento com <i>Lidar</i> portátil, e (c) sobreposição de ambas, com ponto de ancoragem indicado pelo círculo preto.....	145
Figura 90 - Ilustrações dos desenhos de seção horizontal do 2º pavimento do ECLE, feitas a partir das nuvens de pontos oriundas de: (a) restituição fotogramétrica, (b) escaneamento com <i>Lidar</i> portátil, e (c) sobreposição de ambas, com ponto de ancoragem indicado pelo círculo preto.....	146
Figura 91 - Ilustrações dos desenhos de seção vertical transversal do ECLE, feitas a partir das nuvens de pontos oriundas de: (a) restituição fotogramétrica, (b) escaneamento com <i>Lidar</i> portátil, e (c) sobreposição de ambas, com ponto de ancoragem indicado pelo círculo preto.....	147
Figura 92 - Ilustração do processo de desenho de linhas a partir de seções na nuvem de pontos, no <i>software Autodesk Civil 3D</i> . ....	148
Figura 93 – (a) Perspectiva isométrica seccionada do hall central do ECLE, com marcações de localização da Região 1 – Parede e Região 2 – Piso em vermelho; (b) seção vertical na Região 1 – Parede; (c) seção vertical na Região 2 – Piso. ....	149
Figura 94 – Perspectiva de um dos ambientes do 2º pavimento do ECLE, na nuvem de pontos obtida por restituição fotogramétrica. ....	150
Figura 95 - Perspectiva do hall central do ECLE, na nuvem de pontos obtida por restituição fotogramétrica. ....	150



Figura 96 - Perspectiva de um dos ambientes do 2º pavimento do ECLE, na nuvem de pontos obtida por restituição fotogramétrica. .... 151

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Grupos de classificação de escaneamento a laser e seus valores de alcance e precisão média.....	58
Quadro 2 - Tamanhos dos arquivos obtidos nos processos de escaneamento a laser e restituição fotogramétrica dos objetos de estudo. ....	104
Quadro 3 - Resumo do comparativo entre fotogrametria, escaneamento a laser (TLS), e Lidar portátil.....	155

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo de dimensões da Cadeia Velha aferidas manualmente in-loco, em nuvem de pontos oriunda de escaneamento a laser, e em nuvem de pontos oriunda de restituição fotogramétrica. ....	97
Tabela 2 - Comparativo de dimensões da antiga Casa de Força e Luz aferidas manualmente in-loco, em nuvem de pontos oriunda de escaneamento a laser, e em nuvem de pontos oriunda de restituição fotogramétrica. ....	99
Tabela 3 - Comparativo de dimensões do Espaço Comum Luiz Estrela aferidas manualmente in-loco, em nuvem de pontos oriunda de escaneamento com <i>Lidar</i> portátil, e em nuvem de pontos oriunda de restituição fotogramétrica. ....	143

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>AECO</b>	Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação
<b>ALS</b>	Aerial Laser Scanning
<b>BIM</b>	<i>Building Information Modeling</i>
<b>CAD</b>	<i>Computer Aided Design</i>
<b>CEPAI</b>	Centro Psíquico da Adolescência e Infância
<b>CPP</b>	Centro Psicopedagógico
<b>DPCA</b>	Diretoria de Patrimônio Cultural e Arquivo Público
<b>DSM</b>	<i>Dense Stereo Matching</i>
<b>ECLE</b>	Espaço Comum Luiz Estrela
<b>EDM</b>	Electronic Distance Measurement
<b>GPS</b>	<i>Global Position System</i>
<b>HBIM</b>	<i>Heritage Building Information Modeling</i>
<b>HMLS</b>	<i>Hand-held Mobile Laser Scanner</i>
<b>HNPI</b>	Hospital de Neuropsiquiatria Infantil
<b>IFC</b>	<i>Industry Foundation Classes</i>
<b>INS</b>	<i>Inertial Navigation System</i>
<b>LASER</b>	<i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i>
<b>LIDAR</b>	<i>Light Detection and Ranging</i>
<b>LOD</b>	<i>Level of Detail</i>
<b>LOD</b>	<i>Level of Development</i>
<b>MPE</b>	Ministério Público Estadual
<b>PD</b>	Patrimônio Digital
<b>PPI</b>	<i>Pay-Per-Input</i>
<b>PV</b>	Patrimônio Virtual
<b>SICG</b>	Sistema Integrado de Conhecimento e Gestão

<b>SLAM</b>	<i>Simultaneous Localization and Mapping</i>
<b>TLS</b>	<i>Terrestrial Laser Scanning</i>
<b>VANT</b>	Veículo Aéreo Não Tripulado

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	22
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	29
2.1	A DOCUMENTAÇÃO DO PATRIMÔNIO CONSTRUÍDO .....	29
2.2	O PATRIMÔNIO DIGITAL E O HBIM .....	34
2.3	LEVANTAMENTO CADASTRAL DO PATRIMÔNIO CONSTRUÍDO E OS MÉTODOS DIGITAIS.....	46
2.3.1	FOTOGRAMETRIA .....	51
2.3.2	ESCANEAMENTO A LASER .....	57
3	METODOLOGIA.....	61
3.1	EXPERIMENTOS .....	63
3.1.1	COMPARATIVO ENTRE FOTOGRAMETRIA E ESCANEAMENTO A <i>LASER</i> .....	65
3.1.1.1	OBJETO DE ESTUDO .....	65
3.1.1.2	Escaneamento a <i>laser</i> ( <i>TLS</i> ).....	70
3.1.1.3	Fotogrametria .....	74
3.1.1.4	Análise comparativa .....	86
3.1.1.4.1	Acesso 86	
3.1.1.4.2	Conhecimento demandado .....	88
3.1.1.4.3	Tempo da captura .....	89
3.1.1.4.4	Complexidade do processo de captura .....	91
3.1.1.4.5	Qualidade do produto.....	92
3.1.1.4.6	Nível de controle da qualidade do produto.....	106
3.1.2	COMPARATIVO ENTRE FOTOGRAMETRIA E <i>LIDAR</i> PORTÁTIL ....	107
3.1.2.1	OBJETO DE ESTUDO .....	107
3.1.2.2	<i>Lidar</i> Portátil .....	113
3.1.2.3	Fotogrametria .....	120
3.1.2.4	Análise comparativa .....	126

3.1.2.4.1	Acesso	126
3.1.2.4.2	Conhecimento demandado .....	128
3.1.2.4.3	Tempo da captura .....	129
3.1.2.4.4	Complexidade do processo de captura .....	130
3.1.2.4.5	Qualidade do produto .....	131
3.1.2.4.6	Nível de controle da qualidade do produto .....	152
4	CONCLUSÃO.....	154
	REFERÊNCIAS.....	159

## 1 INTRODUÇÃO

Associa-se a “patrimônio” nosso ímpeto psicológico de lembrar, de preservar memórias sobre tudo como representações ou narrativas. Tal prática diz respeito a todas as sociedades humanas e assim representamos a importância da “sobrevivência” de fatos, pessoas ou ideias ao longo do tempo (CARSALADE, 2007).

Patrimônio. Esta bela e antiga palavra estava, na origem, ligada às estruturas familiares, econômicas e jurídicas de uma sociedade estável enraizada no espaço e no tempo. Requalificada por diversos adjetivos (genético, natural, histórico, etc.) que fizeram dela um conceito "nômade" ela segue hoje uma trajetória diferente e retumbante.

Patrimônio histórico. A expressão designa um bem destinado a usufruto de uma comunidade que se ampliou a dimensões planetárias, constituído pela acumulação contínua de uma diversidade de objetos que se congregam por seu passado comum: obra e obras-primas das belas artes e das artes aplicadas, trabalhos e produtos de todos os saberes e savoir-faire (competência) dos seres humanos. (CHOAY, 2017, p.11)

O conceito do Patrimônio Cultural (antes Patrimônio Histórico), emergido no século XV (Choay, 2017, p.205), passa a representar como as sociedades constroem sua identidade e sua relação com a temporalidade. Como coloca Cavalcante (2007), todo patrimônio passa pelo processo de “patrimonialização”, que seria a consideração de um bem como patrimônio a partir de critérios específicos (históricos, culturais, sociais, econômicos, éticos, etc.), e que garanta a significância desse bem para um coletivo, “cuja salvaguarda, ainda que simbólica, favoreça a preservação e o acesso a gerações futuras”. (CAVALCANTE, 2007, p.156)

Grupos sociais compõem uma enriquecida herança com suas tradições, experiências e produções, e vão construindo um acervo patrimonial, seja materializado ou não. Tais acervos são conectados aos grupos que os vivem e compõem e podem ser transmitidos por informações que irão preservar a memória de um saber, conhecimento ou acontecimento, ou até mesmo preservar materialmente um patrimônio artístico ou arquitetônico.

A noção do que é o patrimônio e também a salvaguarda tem sido amplamente alargada após o registro da Convenção Sobre a Proteção do Patrimônio Mundial Cultural e Natural – também conhecida como as Recomendações de Paris (UNESCO, 1964). O evento buscou oficializar debates sobre a salvaguarda e a conservação de



bens mundiais, e estratégias de equilíbrio entre a cultura e a natureza. A partir da criação deste documento, relato da convenção, ampliou-se o movimento mundial pela discussão acerca das temáticas do patrimônio e da conservação.

Dentro destas discussões e evoluções sobre o patrimônio, encontra-se sempre presente a arquitetura, suas variadas formas e funções no decorrer do tempo, tal como sua relação de significância com a humanidade. A arquitetura sempre conectou o material, a construção, o físico, com o imaterial, o habitar, o abrigar, o refugiar.

Zevi (1996) discorre, no capítulo intitulado “A Representação do Espaço”, sobre os formatos e elementos utilizados há muito tempo para a representação da arquitetura. Também coloca como as representações do espaço ainda não foram resolvidas de forma a representar toda a complexidade da arquitetura, uma vez que ela não diz respeito somente aos elementos construtivos e suas disposições.

Como já vimos, o método de representação dos edifícios que encontramos aplicado na maioria das histórias de arte da arquitetura serve-se de: a) plantas, b) elevações e cortes ou seções, c) fotografias. Já afirmamos que, isoladamente e no seu conjunto, esses instrumentos são incapazes de representar completamente o espaço arquitetônico, mas é útil aprofundar o assunto porque – se até agora não temos à nossa disposição melhores meios representativos, a nossa missão é estudar a técnica de que dispomos e torna-la mais eficiente. Se não existe uma maneira satisfatória de representar as concepções espaciais, há, sem dúvida, uma problemática dos meios que possuímos (ZEVI, 1996, p. 30)

Portanto, as formas de representação dos projetos de arquitetura e das edificações estão em constante evolução, guiados pelas necessidades das épocas e das técnicas disponíveis. Além disso, novas questões acerca da precisão, da função e da necessidade de representar surgem na medida que as discussões sobre a arquitetura e sobre as cidades se adaptam às contemporaneidades.

Ao longo dos anos, os formatos de representação de informação em projetos passaram por algumas tipologias distintas. O desenho à mão no papel evoluiu para o *Computer Aided Design* (CAD), onde foi possível representar as formas e informações básicas através do computador, em formatos 2D e 3D. Como coloca Desvallées (2003, p.18): “Passou-se ao mesmo tempo do suporte papel para o suporte eletrônico e da contemplação individual ou colectiva, mas monotópica, à contemplação universal e mundial.”

Já no fim do século XX, já se evoluía o conceito do CAD convencional para outras formas de representação computacional, onde se poderia representar, junto às formas geométricas, dados e informações além da geometria. Desta evolução, surgiu o *Building Information Modeling* (BIM), que tem o objetivo de representar e gerenciar informação junto à representação geométrica complexa e parametrizada.

De acordo com Campos (2004), a prática da modelagem e seu aperfeiçoamento se justifica uma vez que dessa forma, consegue-se criar, além de representações físicas dos objetos, suas relações entre outras entidades, tudo isso dentro de um domínio de conhecimento específico.

O BIM, ao ser aplicado ao Patrimônio Cultural edificado, ganhou a nomenclatura de *Heritage Building Information Modeling* (HBIM), e é compreendido como um conceito específico, paralelo, porém distinto do BIM, uma vez que sua aplicação a novas edificações e a edificações históricas possuem muitas diferenças.

Uma destas diferenças, talvez das mais óbvias seria o fato de que no BIM para novas edificações, se modela para o planejamento da construção, para um “futuro edificado”; já no HBIM, se modela o passado e o presente de uma edificação já existente, com a intenção de um planejamento para o futuro – intervenções construtivas ou a conservação.

Para isto, leva-se em consideração que a edificação histórica frequentemente apresenta características de algo que após construído - por vezes com técnicas construtivas tradicionais e artesanais – foi possivelmente modificado, teve os materiais expostos à ação do tempo, à ação humana, e à falta de conservação. Assim, tais edificações podem apresentar desalinhamentos, desaprumos, paredes tortas, intervenções diversas bem ou mal sucedidas, e características formais de técnicas construtivas que podem não mais pertencer de forma muito presente à nossa cultura construtiva atual.

É neste ponto que se mostra necessária uma boa documentação do Patrimônio. Frente a diversas formas de preservar a memória, se destaca como importante instrumento de preservação, o registro iconográfico. Os registros em formatos gráficos diversos, contendo as mais variadas informações podem ser desenvolvidos utilizando de técnicas antigas ou novas, tradicionais ou modernas-tecnológicas. Embora não

substitua o objeto de estudo a ser registrado, tal documentação pode servir como preservação da realidade passada, como registro, ou como ferramenta para decisões.

O cadastro documental do patrimônio construído, além de garantir a preservação da memória e da história, é instrumento importante para quem se propõe a intervenções nos bens. Além disso, viabiliza uma compreensão mais acurada sobre as evoluções sucedidas no “organismo arquitetônico”, nas estruturas e em toda a complexidade da edificação além da esfera material e tangível. (IPHAN, 2008a)

Como expõe o ICOMOS (1996, p. 49, tradução minha):

O registro é a captura de informações que descrevem a configuração física, a condição e o uso de monumentos, grupos de edifícios e locais, em momentos específicos, e é uma parte essencial do processo de conservação. [...] Registros de monumentos, grupos de edifícios e locais podem incluir evidências tangíveis e intangíveis, e constituem uma parte da documentação que pode contribuir para a compreensão do patrimônio e seus valores relacionados.

Além deste valor para a salvaguarda, que perpassa pelo simbólico, o cadastro é instrumento prático imprescindível para o reconhecimento e avaliação de uma edificação de interesse cultural no mérito das intervenções físicas. Não somente os projetos de restauração e as obras que executarão o projeto, mas também a manutenção e conservação posteriores a elas.

Conforme descreve Amorim (2011), pode-se entender um projeto de documentação como o fluxo das etapas de (a) Planejamento – definições de recursos e objetivos; (b) Aquisição de dados – em campo e por fontes externas; (c) Processamento dos dados – tratamento das informações adquiridas; (d) Gerenciamento dos dados – ações de administração, armazenamento e externalização das informações processadas; (e) Controle e documentação dos processos – análise de toda a execução do projeto de documentação.

Na etapa de aquisição de dados, e ainda considerando a já exposta frequente complexidade física das edificações históricas, é onde existe um grande potencial colaborador da captura de realidade por métodos digitais. Tais métodos, utilizam de ferramentas diversas para capturar e digitalizar dados físicos visíveis com objetivo de facilitar e aprimorar o levantamento cadastral de informações materiais do patrimônio edificado. Os métodos digitais de captura de realidade vêm sendo amplamente

estudados e aprimorados nos últimos anos, sendo parte importante para o crescimento e difusão do conceito de Patrimônio Digital (PD), servindo como aporte de informações para ambientes virtuais, modelagem da informação, e base para diagnósticos e monitoramentos diversos.

O Patrimônio Digital é um conceito que ganhou força no século XXI que, em suma, consiste na utilização das tecnologias digitais para ações de levantamento cadastral, modelagem de informação, acessibilidade e outras que possibilitem o universo digital e virtual serem agentes de salvaguarda e difusão do patrimônio cultural.

De forma geral, a preservação do patrimônio cultural edificado sempre foi, no Brasil, um desafio. O alto custo de conservação e restauração de edificações unidos a uma falta de “cultura de preservação” proporciona uma dificuldade generalizada de se manter preservados, ou até mesmo existindo, grande parte do nosso acervo arquitetônico de interesse cultural. E quando adentramos no âmbito profissional da conservação, expõem-se também os dificultadores técnico-administrativos: legislações e normatizações ineficientes, necessidade de Educação Patrimonial vinda da falta de valorização comum para com o patrimônio cultural edificado, dificuldades sistêmicas e políticas dos órgãos reguladores, etc.

No âmbito técnico atuante, a problemática se entende à outra seara, que envolve ainda o político e o administrativo, mas também os métodos, as ferramentas e os instrumentos públicos a serem utilizados para os trabalhos que de alguma forma envolvem quesitos técnicos da salvaguarda do patrimônio edificado. Contudo neste grupo, existem as questões acerca da documentação.

A documentação dos bens culturais frequentemente se apresenta em uma deficiente heterogeneidade de formatos, onde para o mesmo bem, pode-se ter documentos em papel ou digitais, em imagens ou em documentos vetorizados, em fichas ou projetos, em mídias de áudio ou vídeo. Também uma heterogeneidade de acesso, onde para o mesmo bem, pode-se ter mais de um banco de dados sobre uma edificação, armazenados em locais distintos e com formas de acesso diversas. Por exemplo, uma edificação que possui acautelamento por tombamento municipal e inventário estadual por alguma questão de proteção de entorno, pode ter documentações diferentes nos registros dos órgãos de preservação municipal e estadual. Além disso, o acesso é

disponibilizado, hora em formato físico – formatos de projeto desenhados à mão, ou dossiês mais antigos em formato impresso -, hora em formato digital – formatos antigos digitalizados ou documentos mais recentes, já produzidos em meio digital.

Ainda na questão do acesso à informação, o problema pode se estender até mesmo para a inacessibilidade de algumas informações, considerando que quando se trata de um bem histórico, é possível que as informações sobre este bem estejam pulverizadas entre pessoas ou grupos diferentes da sociedade, até mesmo limitado à memória individual ou relatos orais. Assim, é possível que tais informações se percam com o passar do tempo, pelo simples fato de não existir uma forma específica de se registrar ou relatar informações para bens que não estão na posição de objetos de estudo ou protegidos por algum tipo de acautelamento pelo poder público.

Em contrapartida às problemáticas expostas, o PD e as técnicas digitais de captura de realidade surgem para apresentar possíveis soluções para muitas destas questões, aprimorando os métodos digitais para tornar mais rápidos, mais acessíveis e mais completos os projetos de documentação para edificações de interesse cultural. Ainda que pouco populares, já proporcionam possibilidades de homogeneização e melhorias nos processos de levantamento cadastral.

Contudo, mesmo levando em consideração os métodos digitais, volta-se na questão técnica e depara-se com a ainda estrita divulgação (prática e teórica) sobre aspectos detalhados destes métodos. Ainda que se tenha conhecimento da existência e eficiência, e ainda que se queira tirar proveito para um ganho processual e qualitativo, a própria escolha do método pode se confundir nas opções metodológicas por falta de conhecimento dos detalhes e características de cada uma.

Groetelaars em 2015, já identificava como justificativa de sua pesquisa, a demanda de melhoria nas metodologias de documentação do patrimônio construído; demanda ainda insistente no tempo do presente trabalho. Junto à esta, também a demanda de eficiência e eficácia nos métodos de projeto e de trabalho com modelos complexos.

Os métodos digitais de captura de realidade vêm sendo estudados e aprimorados de forma rápida e eficaz nos últimos anos, e são potencializadores de qualidade no processo de construção e na qualidade dos produtos finais dos levantamentos cadastrais do patrimônio construído. Porém em maioria ainda não são métodos

acessíveis, tanto em consideração a custos e disponibilidade de equipamentos, quanto em consideração à difusão do conhecimento de como utilizá-lo de forma fluida e eficiente.

Além dos pontos que podem tornar os métodos mais ou menos acessíveis, existe uma variação de eficiência com relação à finalidade da captura de realidade, que exige também um conhecimento das diferenças entre os métodos para a escolha correta entre as opções. Muitos trabalhos científicos já se esforçaram em explorar análises e demonstrações utilizando dos métodos e ferramentas digitais, com estudos de caso de diferentes situações e demandas, mas existe uma carência de produções que gerem conhecimento sobre a eficiência e eficácia destes métodos comparativamente, de forma a demonstrar características específicas que os diferem e consequentemente servir como aporte teórico para decisões na escolha da aplicação prática.

Portanto, a presente pesquisa tem como objetivo específico, comparar métodos digitais de captura de realidade utilizando de parâmetros qualitativos e quantitativos que permitam a percepção mais acurada sobre cada aspecto observado. Tem como objetivo geral trazer contribuição teórica e prática pontual para a compreensão de algumas destas características, de forma que possa influenciar o conhecimento prático de captura de realidade para levantamento cadastral de edificações históricas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A DOCUMENTAÇÃO DO PATRIMÔNIO CONSTRUÍDO

Le Goff (2003, p.471) coloca que “a memória, na qual cresce a história, que por sua vez a alimenta, procura salvar o passado para servir ao presente e ao futuro”. Jardim (1995) diz que a memória registrada e conservada constitui a base da sociedade e da atividade humana. Entende-se que a compreensão do passado e de seus fragmentos, nos ajuda e compreender o presente e planejar melhor o futuro.

E como explicita Indolfo (2007, p.29):

O documento ou, ainda, a informação registrada, sempre foi o instrumento de base do registro das ações de todas as administrações, ao longo de sua produção e utilização, pelas mais diversas sociedades e civilizações, épocas e regimes. Entretanto, basta reconhecer que os documentos serviram e servem tanto para a comprovação dos direitos e para o exercício do poder, como para o registro da memória.

O Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), em seu *Dicionário do Patrimônio Cultural*, coloca que a “documentação” remete às ações de coleta, processamento técnico, disseminação de informações de um conjunto de documentos - além dos próprios documentos. Ou seja, o termo documentação utilizado no patrimônio cultural, além de ser o agrupamento de todo tipo de dados e informações sobre um determinado bem, diz respeito também aos métodos de captura e obtenção das informações, e aos métodos de promoção de acessibilidade das mesmas.

Como já expunha Pereira Filho (2015), vivemos uma “revolução documental”, que traz a nós uma demanda de revisar os conceitos e metodologias sobre a documentação. Notam-se possíveis necessidades de interdisciplinaridade entre arquivologia, história, biblioteconomia e museologia.

Tanus *et al.* (2012), expondo um conceito mais contemporâneo, colocam que a documentação perpassa o domínio e entendimento da Ciência da Informação, e não se restringem exclusivamente a documentos físicos.

Como coloca Haddad *et al.* (2015), a documentação não só é necessária para a conservação, mas possui também a função de conscientização pública. O acesso à informação tem o potencial de promover o conhecimento necessário para estimular o

conhecimento sobre os bens, e conseqüentemente, a noção da necessidade de preservação.

Le Goff (2003) e Carsalade (2007) colocam questões acerca do tratamento do documento como testemunho “neutro”, imparcial, mesmo sendo produzido com o viés de quem o capta ou escreve. Le Goff (p.545) afirma que “[...]o documento não é qualquer coisa que fica por conta do passado, é um produto da sociedade que o fabricou segundo as relações de forças que aí detinham o poder”, e Carsalade (p.180) que outro problema dessa abordagem, que frequentemente na história “atendem às intenções das classes dominantes”. Apesar das problemáticas levantadas sobre a forma com que a documentação é produzida e tratada na conservação, existe uma concordância entre este e vários outros autores antigos e recentes sobre a temática de que a documentação é imprescindível para a salvaguarda do patrimônio, e que cabe a nós evitar seu falseamento ou produção enviesada.

O contexto nacional sobre a formação do cenário atual e história da documentação, é proveniente de definições amplamente discutidas em âmbito internacional no passado, portanto, este contexto será explicitado a nível de embasamento.

Choay (2017, p.99-100) elucida que já em 1789 existia uma comissão nacional na França com finalidade de preparar inventários e definir regras de gestão. Já se sistematizava o tombamento e outras formas de acautelamento dos bens móveis e imóveis considerados como patrimônio, considerando também o estado de conservação dos bens.

Além disso, cita a utilização da documentação nos estudos das antiguidades:

Entre o século XVI e o fim do iluminismo, o estudo das antiguidades evolui segundo uma abordagem comparável a das ciências naturais: ele busca uma mesma descrição, controlável e, portanto, confiável desse aos objetos (CHOAY, 2017, p. 76)

A nível internacional, as cartas patrimoniais citaram por diversas vezes a importância da documentação do patrimônio cultural. A *Carta de Veneza (1964)* citou em seus registros a necessidade de guarda e disponibilização de uma documentação especializada, dando relevância também para o fato de que tais ações devem ser incentivadas e também executadas pelos Estados.



A *Recomendação de Paris*, também de 1964, fez a proposta que Estados instituíssem inventários nacionais do patrimônio cultural com propósito de proteção:

Para garantir a aplicação mais eficaz dos princípios gerais enunciados acima, cada estado-membro deveria, na medida do possível, estabelecer e aplicar procedimentos para a identificação dos bens culturais definidos nos parágrafos 1 e 2 que existam em seu território e estabelecer um inventário nacional desses bens (UNESCO, 1964, p. 3).

A Conferência Geral da Organização das Nações Unidas, na *Recomendação de Paris de Obras Públicas ou Privadas* (1968), reforça que os Estados criem e mantenham inventários dos bens culturais:

As medidas de preservação dos bens culturais deveriam se estender à totalidade do território do Estado e não se limitar a determinados monumentos e sítios. Deveriam ser mantidos inventários atualizados de bens culturais importantes, protegidos por lei ou não. No caso de não existirem esses inventários, seria preciso criá-las, cabendo a prioridade a um levantamento minucioso e completo dos bens culturais situados em locais em que obras públicas ou privadas os ameacem (UNESCO, 1968, p.3).

A *Declaração de Amsterdã* (1975) evolui as recomendações colocando em pauta o “reconhecimento dos valores estéticos e culturais do patrimônio arquitetônico” e expondo a necessidade de uma documentação considerando a delimitação das zonas de proteção:

[...] é conveniente organizar o inventário das construções, dos conjuntos arquitetônicos e dos sítios, o que compreende a delimitação das zonas periféricas de proteção. Seria desejável que esses inventários fossem largamente difundidos, notadamente entre autoridades regionais e locais assim como entre os responsáveis pela organização do espaço e pelo plano Urbano como um todo, a fim de chamar sua atenção para as construções e zonas dignas de serem protegidas. Tal inventário fornecerá uma base realista para a conservação, no que diz respeito ao elemento qualitativo fundamental para administração dos espaços (CONSELHO DA EUROPA, 1975, p. 4).

A *Carta de Burra* (AUSTRALIA ICOMOS, 1999) cita que a documentação é item de compreensão de um sítio a sofrer intervenção, e ainda que tais compreensões devem ser regularmente atualizadas, revistas e corrigidas (caso necessário).

Como se pode notar pela evolução das discussões acerca da documentação e também como expõe Castro (2010), o final do século XIX foi época marcante no início da preservação documental no campo científico.

Em nível nacional, a determinação de regulamentos para a documentação se iniciou em 1988 com a *Constituição Federal*. O Artigo 216, inciso IV, parágrafo 2º é a primeira citação de uma explicação sistematizada do termo:

[...] cabem à administração pública, na forma da lei, a gestão da documentação governamental e as providências para franquear a consulta a quantos dela necessitarem (BRASIL, 1988, Art. 216).

O termo usado: “gestão da documentação” coloca na redação um tom de proposição de repasse da responsabilidade dos processos de produção, conservação e acessibilidade da documentação ao Estado (PEREIRA FILHO, 2015). Posteriormente, como ficou conhecida a Lei Federal nº 8.159, de 08 de janeiro de 1991 – a *Lei de Arquivos* regulamentou o citado texto da Constituição, e estendeu a política arquivística pública para arquivos privados.

O documento *Cadernos de Pesquisa e Documentação do IPHAN* (IPHAN, 2008 b) esclarece que:

No Brasil, a gestão de documentos se institucionalizou com a aprovação da Lei nº 8.159, de 8 de janeiro de 1991, que dispõe sobre a política nacional de arquivos públicos e privados.” Neste documento, encontra-se todo o histórico da instituição e dos movimentos feitos sobre a temática da gestão documental no Brasil, e a história dos formatos institucionais, dos programas implantados e da evolução desta discussão foram minuciosamente expostas.

O *Decreto nº 3.551*, de 4 de agosto de 2000, incumbiu o Ministério da Cultura de assegurar “documentação por todos os meios técnicos admitidos” (Art. 6º) e de divulgar e promover amplamente os bens registrados, e o IPHAN de manter tal banco de dados.

No *Manual de Elaboração de Projetos de Preservação do Patrimônio Cultural*, o IPHAN (2005) reconhece a equivalência de um cadastro feito com apuro e exatidão a uma ação de preservação, considerando que tal acúmulo de informações feitas de forma adequada e de fácil acesso permite produções de conhecimento sobre os bens.

No âmbito institucional brasileiro, após os trabalhos de documentação ganharem um espaço próprio na década de 1980 - com a criação da Coordenação de Registro e Documentação (CRD), na década de 1990 passaram a ter um sistema informatizado, com o apoio do *Programa Monumenta* ao Inventário Nacional de Bens Imóveis em Sítios Urbanos Tombados (INBI-SU) (TOLENTINO, 2018).

Em 2007, o IPHAN implantou o Sistema Integrado de Conhecimento e Gestão (SICG), com a finalidade de ser um sistema de integração de dados sobre patrimônio cultural material.

Este sistema pretende reunir em uma base única, informações sobre cidades históricas, bens móveis e integrados, edificações, paisagens, arqueologia, patrimônio ferroviário e outras ocorrências do patrimônio cultural do Brasil (FRONER, 2012, p. 90).

Além de base de documentação, o SICG tem a proposta de dar suporte à gestão do patrimônio cultural. Algumas fichas possuem características de coleta de dados para informações que ajudem na tomada de decisões, elaboração de planos estratégicos e constituição de ações de reabilitação urbana. Na plataforma, os bens são georreferenciados e classificados conforme tema e recorte territorial. Atualmente - após terem sido criadas em arquivos simples de texto e planilha, as fichas de catalogação encontram-se adaptadas em um sistema computadorizado.

Baseado na *Convenção para a Salvaguarda do Patrimônio Imaterial* da Unesco de 2003 (aprovada pelo *Decreto Legislativo 22/2006* e promulgada por meio do *Decreto 5.753/06*), a salvaguarda se define como as ações que têm intenção de assegurar a viabilidade do patrimônio cultural imaterial (IPHAN, 2017). Dentre as ações citadas como definidoras, destacam-se no presente discorrimento: a documentação, a investigação, a transmissão e a revitalização. Todas essas medidas são amplamente potencializadas pelo uso da tecnologia para melhoria das metodologias de registro, planejamento e disponibilidade de acesso.

## 2.2 O PATRIMÔNIO DIGITAL E O HBIM

Addison (2006) descreve o Patrimônio Digital – o chama de Patrimônio Virtual (PV) -, como “uso das tecnologias digitais para registrar, modelar, visualizar e comunicar o patrimônio cultural e natural” (p. 2, tradução minha). O autor já relatava nos anos 2000 como os avanços tecnológicos trouxeram esperanças para a preservação da herança cultural, e como as técnicas digitais já auxiliavam e facilitavam os trabalhos mais complexos da arqueologia, da história e da conservação de monumentos (ADDISON, 2000).

Como descreve Champion (2015), corroborado por Linhares e Groetelaars (2021), o uso de tecnologias digitais nos processos de documentação para o patrimônio cultural construído trouxe tal conceito de Patrimônio Digital, que é reconhecido como a utilização de métodos e ferramentas digitais para transmitir não só a aparência, mas também a significância dos bens, frequentemente de forma imersiva e interativa.

Na Carta de Londres, Denard (2009) falava sobre aspectos necessários para o rigor científico do Patrimônio Digital, destacando pontos como sustentabilidade, fidelidade, integridade, acesso e documentação.

Vilela *et al.* (2021) expõem como os primeiros trabalhos que conectaram computação gráfica à aplicação de reconstrução histórica aconteceram no início dos anos 1980 (Champion, Dave, 2007), e que as primeiras discussões sobre Realidade Virtual (RV) aconteceram a partir dos anos 1990. O autor coloca um histórico resumido sobre o início e emergência do PV:

A primeira experiência de patrimônio virtual foi um tour virtual pelo Castelo de Dudley na Inglaterra, no ano de 1994 (JOHNSON, 1996 apud CHAMPION, 2014). Pouco tempo depois, o projeto *Rome Reborn*® começou a ser desenvolvido. De acordo com Alencar (2013), o trabalho é considerado um divisor de águas no contexto do patrimônio virtual. De autoria do CVRLab (*Cultural Virtual Reality Lab*) da Universidade da Califórnia, o projeto produziu modelos 3D acessíveis ao público em geral da cidade de Roma Antiga, desde a Idade do Bronze (cerca de 1.000 a.C.), até o seu despovoamento no início da Idade Média (aproximadamente em 500 d.C.). (VILELA *et al.*, 2021, p.149)

Hoje, entende-se que o PD consiste em um processo complexo e amplo que vai desde a captura de informações e documentação cuidadosa do objeto estudado, perpassando pela construção de modelos tridimensionais parametrizados, até a

disseminação e acessibilidade do material resultante, além de apropriação pelos usuários interessados.

É importante discernir, entre dois conceitos distintos de Patrimônio Digital, qual o conceito tratado no presente trabalho.

Um conceito seria a abordagem de tratativas a respeito de informações nascidas em suporte digital e que seriam tratadas como patrimônio digital ou virtual. Conforme Reis *et al.* (2016), “de gênese”. Textos, imagens, vídeos ou qualquer outro documento que tem sua origem já em formato digital, e que é entendido posteriormente como patrimônio (intangível). Conforme UNESCO (2003), o patrimônio que nasce eletronicamente, de valor e significância duradouros.

Outro conceito, que é o conceito aqui abordado, é sobre a digitalização de patrimônios já existentes, com origem física, analógica, não-virtual. Conforme Reis *et al.* (2016), “de duplicação” Neste caso, tratando principalmente do patrimônio material: sítios arqueológicos, centros históricos, edificações, monumentos diversos, esculturas, documentos em papel, etc. A utilização de ferramentas digitais para a duplicação de bens patrimoniais, que potencializam as possibilidades de preservação e salvaguarda.

Karpinski *et al.* (2022) discorrem sobre esta diferença, e sobre como os conceitos ainda hoje são discutidos em todas suas complexidades dos significados de “digital”, de “virtual” e de como toda a discussão perpassa também os campos da filosofia e da cibernética.

Na *Charter on the Preservation of the Digital Heritage*, resultado de conferência promovida pela UNESCO em 2003, as discussões acerca do Patrimônio Digital já se preocupavam com questões como a ética e a sustentabilidade aplicadas ao tema. Em suma, sobre como deve-se tratar o patrimônio digitalizado, principalmente em comparação ao patrimônio nativo digital, e sobre como abordar a materialidade do patrimônio uma vez que a digitalização toca em outro tipo de significância, que vai além do material.

Cavalcante, em 2007, já colocava questões oriundas da *Charter on the Preservation of the Digital Heritage* (2003), sobre a existência de muitas questões acerca da temática do Patrimônio digital, ainda com poucas respostas e com discussões em andamento por profissionais e pesquisadores por todo o mundo.

Dentro disso, a preocupação com o nível de acesso do digital, que possibilita a exclusão de uma certa parcela da sociedade, principalmente em países mais pobres ou sem acesso tão difundido à tecnologia de ponta. Além disso, o cuidado para esta questão não se tornar promotora do desaparecimento da diversidade cultural que frequentemente se mostra em “pequenos patrimônios” espalhados pelo mundo, independentemente do nível de acesso ao digital.

Outra questão do tema são as tratativas jurídicas, legais e normativas com relação ao Patrimônio Digital. Paixão e Kai (2020) discutem as nuances de intercessão entre o direito do Patrimônio Cultural e o Direito Digital, expressando as diferenças de evolução de ambos os microssistemas, onde o do Patrimônio Cultural se encontra em uma situação mais à frente do tempo, com aportes jurídicos já sendo evoluídos desde o final do século XX, e com um nível de jurisprudência robusta na resolução de conflitos; e o do Direito Digital ainda sem muita produção legislativa e que lida com características microssistêmicas diferentes como o autorregramento e as constantes modificações oriundas disso, e também de um caráter comunitário.

Ainda sobre o histórico das tratativas sobre o Patrimônio Digital nacional, o Conselho Nacional de Arquivos – Conarq, lançou em 2005 a *Carta para a Preservação do Patrimônio Arquivístico Digital*, que a partir da *Charter on the Preservation of the Digital Heritage* (2003) e dos princípios dos Conselhos arquivísticos nacional e internacional, sistematiza as demandas do campo e define diretrizes a serem adotadas para a preservação do Patrimônio Digital.

Colocadas as várias questões conceituais e históricas sobre o Patrimônio Digital, permite-se discorrer também, talvez como ponto mais importante do presente, as finalidades e capacidades da utilização dele.

As finalidades de se utilizar a digitalização do patrimônio perpassam várias etapas do trabalho de salvaguarda como: documentação, armazenamento, difusão, acessibilidade, atualização das informações, intervenções e operação.

A obtenção das informações materiais e imateriais sobre um determinado bem proporcionam a possibilidade de digitalização, uma vez que se define metodologia ideal para tal baseado nas características da informação. Informações materiais podem ser obtidas através de fotografias, desenhos técnicos, ilustrações,

reconstituições fotogramétricas, escaneamentos e análises estratigráficas. Informações imateriais se apresentam por documentações diversas e pela interpretação dos sentidos humanos – tato, olfato, audição e fala. A oralidade sempre foi forte aliada da difusão e do registro patrimonial.

A digitalização encontra no imaterial um desafio, uma vez que existem métodos para captura de alguns, mas não todas as interpretações dos sentidos humanos. A fala pode ser capturada por microfones e gravadas em áudio – e o mesmo ocorre com a percepção da audição. Pode também ser transcrita e apresentada em formato de texto. Mas o olfato e o tato não podem ser digitalizados, uma vez que não existe um método que consiga reproduzir tais sentidos de forma fiel. E mesmo os sentidos capturados, encontram o desafio de serem colocados em contexto com a percepção espacial da realidade – onde os sentidos se misturam e se correlacionam com variações diversas. Porém, os documentos históricos e demais registros do intangível/imaterial podem ser indexados aos registros tangíveis/materiais como forma de documentação, o que pode também facilitar as formas de difusão e acessibilidade das informações.

Já as informações materiais estão em constante evolução em seus métodos de investigação e representação digital, com a rápida evolução de dispositivos que permitem ensaios e investigações não-destrutivas e os métodos de captura de realidade como escaneamento a *laser* e fotogrametria.

Da manipulação, gerenciamento e sistematização das informações de edificações surgiu o conceito de Modelagem de Informação da Edificação (BIM), e posteriormente, com a aplicação do BIM às edificações históricas, o conceito de Modelagem de Informação do Patrimônio Construído (HBIM).

O BIM (*Building Information Modeling* ou Modelagem da Informação da Construção) é uma plataforma que coordena informações em um modelo geométrico, unidas a um processo colaborativo de projeto a nível avançado. Tal conceito tem suas bases conceituais em processo de evolução desde a década de 1970 (TOLENTINO, 2018).

Conforme Eastman *et al.* (2011), o BIM pode ser conceituado como um conjunto de processos que funcionam de forma associada, visando “a produção, a comunicação e a análise de modelos de construção” (p. 16)

O termo BIM, conforme a *National Building Information Modeling Standard* (NBIMS), pode ser compreendido de três formas: 1) como um sistema de gerenciamento de todo o ciclo de vida de uma edificação, 2) como o processo colaborativo, ou 3) como o produto. (NIBS, 2007, p. 19)

Em um modelo BIM, o desenvolvimento é executado em um “plano infinito” onde se coordena elementos geométricos com informações parametrizadas. Inicialmente os elementos são criados pelas características construtivas, podendo posteriormente, receber dados sobre materialidade, composição, resistência, custo e outros atributos semânticos.

Um projeto desenvolvido em BIM pode apresentar diversos níveis de complexidade, a depender da finalidade para qual está sendo feito, variando em nível de detalhamento da modelagem geométrica e nível de complexidade das informações indexadas aos elementos.

Para isso, existe a escala de classificação *Level of Development* (LOD) ou Nível de Desenvolvimento, que segundo o BIMForum (2021), diz respeito ao nível de complexidade das informações e dos detalhes geométricos atrelados ao modelo.

Esclarece-se aqui, que a sigla pode ser também encontrada na literatura sobre BIM como *Level of Detail* (ou Nível de Detalhe), que segundo Tolentino (2018), se refere ao nível de detalhe de representação geométrica dos elementos do modelo com intenção de aumento ou diminuição de eficiência e rendimento dos recursos de computação gráfica.

A sigla LOD neste trabalho é utilizada para designar Nível de Desenvolvimento.

Em 2013, o BIMForum publicou o documento *Level of Development Specification For Building Information Models*, que define quais os cinco LOD:

- LOD 100: Representação gráfica considerada aproximada, com nível de detalhe genérico. Sem capacidade de indexação de informações não gráficas. Etapa de projeto conceitual.
- LOD 200: Representação gráfica de objetos ou sistemas genéricos, contendo tamanho, forma, quantidade, localização e orientação aproximadas.



Informações não gráficas podem ser indexadas ao modelo. Etapa de Anteprojeto.

- LOD 300: Representação gráfica precisa e com possibilidade de atribuição de informações não gráficas aos elementos do modelo. Etapa de projeto detalhado.
- LOD 350: Representação gráfica precisa em relação a todos os atributos geométricos, de localização e interface com outros sistemas. Neste nível, os itens necessários à coordenação entre diferentes disciplinas são modelados, possibilitando compatibilizações. Etapa de documentação do projeto.
- LOD 400: Representação gráfica precisa e detalhada incluindo detalhes de fabricação e relações específicas dos elementos. Etapa de fabricação ou montagem. Informações não gráficas podem ser indexadas ao modelo.
- LOD 500: Representação gráfica de “*as built*”. Informações geométricas e não geométricas obtidas em campo, em elementos já construídos, fabricados ou montados e representadas no modelo. A situação real do objeto pode ser aferida diretamente no modelo.

Na Figura 1, Vilela *et al.* (2021) ilustram a modelagem externa de uma edificação nos cinco LOD distintos. Para o trabalho, em específico, eles consideraram a nomenclatura LOD01, 02, 03, 04 e 05 em referência aos LOD 100, 200, 300, 400 e 500, respectivamente.

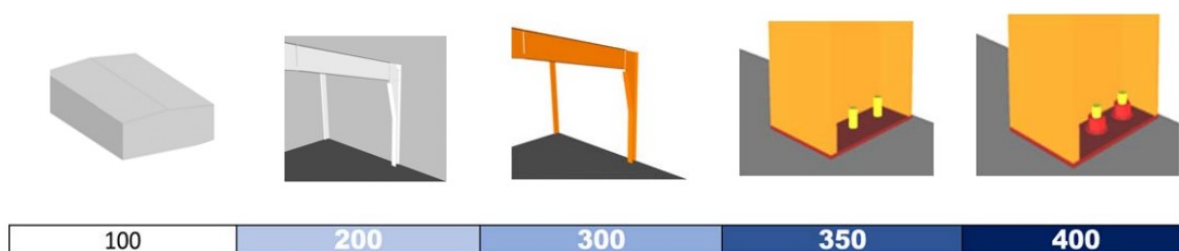
A Figura 2 é uma ilustração esquemática, presente no *Level of Development Specification For Building Information Models* (BIMForum, 2021), que demonstra a representação dos diferentes LOD em um objeto hipotético – um galpão em estrutura metálica. De acordo com o próprio documento, o LOD 500 não é abordado pois “está relacionado à verificação de campo e não é uma indicação de progressão para um nível mais alto de geometria ou informação”. (p.5, tradução minha)

Figura 1 - Esquema ilustrativo da modelagem 3D de edifício com os cinco LODs definidos.



Fonte: VILELA *et al.*, 2021.

Figura 2 - Esquema ilustrativo demonstrando os LOD em um objeto hipotético – um galpão em estrutura metálica.



Fonte: BIMForum, 2021.

Além da evolução ferramental referente à forma com que os modelos geométricos trabalham, recebem e armazenam informações, os *softwares* BIM apresentam, como evolução dos processos de projeto, a interoperabilidade, uma vez que possibilitam os modelos receberem informações de diversas disciplinas de trabalho no mesmo projeto – como considerado no LOD 350.

Uma das finalidades de um modelo BIM, é utilizar da interoperabilidade para aumentar a precisão das informações do projeto, e ser base de dados para compatibilizações e decisões de projeto mais assertivas (RIBEIRO; RODRIGUES, 2019).

As disciplinas não só podem ser desenvolvidas em um mesmo modelo, mas também trabalhar de forma colaborativa simultânea no modelo. Além disso, os modelos podem ser exportados para *softwares* preparados para fazer a gestão dos projetos, como o *Autodesk Naviswoks Manage*.

Como expõe Groetelaars (2015), a tecnologia BIM permite promover:

- produtos mais completos e precisos;
- agilidade e precisão na produção de desenhos técnicos;
- base de dados confiável para quantitativos e outros suportes de gestão e de obras;
- compatibilização de projetos de forma eficiente;
- trabalho colaborativo e compartilhamento de dados;
- condição de análises e simulações sobre comportamento e desempenho.

Após conceituar o BIM, pode-se ampliar as noções de sua aplicação para além do mercado da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO), utilizando de evoluções metodológicas da ferramenta para se trazer o mesmo nível de desenvolvimento processual para outras vertentes de estudo das edificações. É neste passo que o presente trabalho explora também o conceito de HBIM.

O HBIM (*Heritage Building Information Modeling* ou Modelagem da Informação do Patrimônio Construído) é o conceito da tecnologia BIM aplicado para o patrimônio cultural edificado. Teve seu conceito introduzido inicialmente por Murphy *et al.* (2009) e desde então tem passado por consideráveis evoluções sistemáticas.

Como mostrado na Figura 3, BIM para novas edificações e o HBIM possuem características muito distintas no que se refere à informação aplicada (JOUAN; HALLOT, 2019).

Figura 3 - Descrição comparativa do tipo de informação devida à um modelo BIM para novas edificações e um modelo HBIM.



Fonte: JOUAN e HALLOT, 2019, p.610, tradução minha.

Portanto são percebidas grandes diferenças entre a utilização do BIM para novas edificações e para edificações históricas. Enquanto o primeiro tem o fluxo de modelar um projeto para construir, o outro modela o construído para seu registro e manutenção. Existem também diferenças na finalidade da documentação e gestão da informação.

No desenvolvimento HBIM, o modelo é inicialmente criado a partir de captura de realidade, comumente executado por fotogrametria, escaneamento a *laser* ou ambos simultaneamente. No capítulo seguinte, os métodos digitais de levantamento cadastrais serão abordados de forma mais detalhada.

A modelagem geométrica é feita tendo o resultado desta captura como base, proporcionando, em situação ideal, uma alta fidedignidade de posicionamento, geometria e aparência dos elementos construtivos e do sistema da edificação como um todo.

O modelo é criado a partir de levantamento de dados por varredura a *laser* ou fotogrametria, e desenvolvido com finalidade de documentar e analisar edificações de interesse histórico, além de possibilitar consulta de informações na manutenção e operação da edificação, etc. (TOLENTINO, 2018).

O sistema de informações físicas e documentais associadas à geometria possui aproveitamento integral para as edificações históricas, uma vez que se trata sempre de ambientes e monumentos já construídos, e que em muitas vezes possuem ampla bagagem de informações. Além do mais, tais informações são indispensáveis, do ponto de vista metodológico, para qualquer ação de salvaguarda no patrimônio edificado (SIMEONE *et al.* 2014).

É comum, no campo do patrimônio construído, a constituição de bancos de dados volumosos, e com certa heterogeneidade (já aqui exposta) de formatos de representação e tipologias de mídia. Com o modelo HBIM, esta questão é solucionada sistematicamente com a centralização dos dados em modelo único e a indexação destes dados aos respectivos elementos correlatos, além de permitir a representação das informações nos formatos adequados a cada tipo de informação.

Além de cumprir papel crucial com a documentação, o HBIM se desdobra em diversas outras aplicações: consulta de informações na manutenção e operação da edificação;

realização de estudos e simulações para projetos de intervenção - que conseqüentemente ganham qualidade de sustentabilidade e consistência; possibilidade de integração com sistemas e sensores de tempo real; e associação de informações correlatas aos elementos construídos (TOLENTINO, 2018).

O modelo em BIM também se desdobra em uma vantagem processual que é a da multidisciplinaridade. A geometria que se conecta com as informações pode conter dados das engenharias, tal como orçamentos, listas, planejamentos, etc. Tal possibilidade já era defendida como ideal desde 1986, na *Carta de Washington*:

O planejamento da salvaguarda das cidades e bairros históricos deve ser precedido de estudos multidisciplinares. O plano de salvaguarda deve compreender uma análise dos dados, particularmente arqueológicos, históricos, arquitetônicos, técnicos, sociológicos e econômicos, e deve definir as principais orientações e modalidades de ações a serem empreendidas no plano jurídico, administrativo e financeiro. (ICOMOS, 1986, p.2)

Reforçando este entendimento, Cuperschmid *et al.* (2019) explicitam que “os modelos HBIM são relevantes para estudar, comunicar e explicar o valor técnico e histórico do patrimônio arquitetônico”, e que o seu uso tem serventia para a simulação e prevenção de riscos para sistemas estruturais e propriedades de materiais. O trabalho desses autores, inclusive, é um exemplo nacional de aplicação do HBIM, onde os autores relatam experimento de desenvolvimento do modelo da “Casa de Vidro”, edificação icônica da arquitetura moderna brasileira de autoria de Lina Bo Bardi.

Outro exemplo atual de trabalho com as experimentações com o HBIM é o “*Inception*”<sup>1</sup>, projeto com envolvimento de muitas organizações que propõe metodologias para levantamento e modelagem 3D para bens culturais.

Sobre regulamentação e normatização, na esfera internacional, Andrews *et al.* (2015), com a *Metric Survey Specifications for Cultural Heritage* – guia que especifica e descreve parâmetros para tipos de levantamento cadastral de patrimônio arquitetônico –, em sua terceira edição, recomenda o uso do BIM para gerenciamento e documentação do patrimônio. Tal aspecto revela o desejo internacional de ampliação do uso do BIM para além do mercado das novas construções. Uma grande

---

<sup>1</sup> Disponível em: <<https://www.inception-project.eu/>>. Acesso em: 24 jan. 2021.

ascendência também pode ser notada pela adoção progressiva de regulamentos internacionais como a *ISO 19650-1,2: 2018*<sup>2</sup>, que tem intenção de ser referência para novos empreendimentos e também para o patrimônio edificado.

De acordo com a *International Organization for Standardization (ISO)*, a *ISO 19650-1,2: 2018* descreve os conceitos e princípios para o gerenciamento de informações em um estágio de maturidade descrito como "modelagem de informações de construção (BIM)", fornece recomendações para uma estrutura para gerenciar informações, incluindo troca, gravação, controle de versão e organização para todos os atores; é aplicável a todo o ciclo de vida de qualquer ativo construído, incluindo planejamento estratégico, projeto inicial, engenharia, desenvolvimento, documentação e construção, operação diária, manutenção, reforma, reparo e fim da vida útil; e pode ser adaptado a bens ou projetos de qualquer escala e complexidade, de forma a não prejudicar a flexibilidade e versatilidade que caracterizam o vasto leque de potenciais estratégias de aquisição e de forma a fazer face aos custos de implementação deste documento.

Na esfera nacional, nota-se um passo ainda inicial na questão da regulamentação, mas já em curso, o *Decreto nº 10.306*, de 2 de abril de 2020, em seu Art.1º estabelece que:

[...] 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*.

A redação do decreto, no tema de edificações construídas, se limita às questões de "reabilitação" e "reforma", não citando edificações de interesse histórico, ou restaurações. Considerando esta necessidade de amplo e rico banco de dados atrelado ao modelo geométrico, os modelos HBIM demandam uma sistematização mais cuidadosa das informações, seus significados e conexões entre si.

---

<sup>2</sup> Organização e digitalização de informações sobre edifícios e obras de engenharia civil, incluindo modelagem de informações de construção (BIM) - Gerenciamento de informações usando modelagem de informações de construção.

Houve em 1994 uma tentativa de promover alguma interoperabilidade entre modelos BIM para sanar a troca de informações para profissionais de disciplinas distintas de atuação. Uma iniciativa da (atual) *buildingSMART*, foi a criação do *Industry Foundation Classes* (IFC) que, de acordo com Correa e Santos (2014, p.8): “consiste num esquema conceitual de dados e um formato de arquivo para troca de dados, contemplando todos os elementos pertinentes a um edifício em todo o seu ciclo de vida.” Ainda de acordo com esses autores - que foram corroborados por vários outros desde a criação do IFC -, o mesmo não cumpre bem o prometido por ser muito redundante e complexo, além de não conseguir evitar alta carga de trabalho manual de interpretação para quem se propõe a usá-lo. Ainda assim, hoje, é muito utilizado no mercado da AECO, por se mostrar um formato que cumpre suficientemente a questão da interoperabilidade, mesmo sem as condições técnicas ideais.

Ademais, os modelos HBIM necessitam, além da possibilidade de trabalho simultâneo entre os diferentes profissionais e usuários, de atendimento à uma realidade específica de informações sobre o patrimônio. Como requisitos principais para adotar o HBIM, se tem, de acordo com Previtali *et al.* (2020, p. 2, tradução minha) e corroborado por outros vários autores: “(i) a qualidade do modelo e sua confiabilidade para representar a complexidade geométrica dos componentes e, (ii) a adição de um banco de dados semântico abrangente de componentes históricos, materiais, informações e notas sobre cada elemento de construção e mudanças ao longo do tempo”.

O requisito de um bom levantamento cadastral para a construção da documentação de um bem patrimonial carrega a necessidade de eficiência metodológica. As informações devem ser coletadas e interpretadas de forma que se torne um banco de dados confiável, completo – no máximo que se consiga -, e inteligível. Para isso é necessário que se estude e compreenda as etapas, complexidades e instrumentação disponíveis para o cadastro do patrimônio construído.

## 2.3 LEVANTAMENTO CADASTRAL DO PATRIMÔNIO CONSTRUÍDO E OS MÉTODOS DIGITAIS

Conforme Groetelaars (2015), o termo levantamento cadastral pode significar “o processo de medição e de registro das formas de um objeto visando sua representação gráfica”, a própria representação gráfica resultada do processo, ou o conjunto de processo e produto.

O levantamento cadastral é uma etapa do processo de qualquer inventário de patrimônio material, e também para o desenvolvimento do modelo HBIM, e faz a conexão entre a informação (documentação) e o banco de dados do modelo. Trata-se da obtenção das informações materiais e imateriais para alimentação de tal banco de dados.

De acordo com (IPHAN, 2008 a), tal levantamento cadastral não acontece em operação seccionada ou que se encerra após o levantamento de dados geométricos e físicos iniciais. Ele vai muito além, em harmonia com o tempo de obra. Deve ser constantemente atualizado conforme as descobertas de informações (materiais ou imateriais) e achados arqueológicos.

Primeiro texto a reconhecer a importância do uso de reconstruções virtuais no campo do patrimônio histórico, a *Carta Enane* (ICOMOS, 2007) recomenda que tais reconstruções se baseiem em dados arquitetônicos, arqueológicos e históricos.

Conforme Nogueira (2010), a fase de documentação de um bem cultural histórico compreende a extração dos aspectos físicos, topológicos e imateriais do objeto arquitetônico, como por exemplo, elementos geométricos, seu estado de conservação, os materiais construtivos, a relação com o entorno e informações históricas. Neste contexto, as tecnologias de levantamento e digitalização tridimensional, como o escaneamento a *laser* e Fotogrametria digital, apresentam-se como novos aliados para a preservação do Patrimônio Cultural, já que eles podem expor, de forma precisa, imperfeições e danos nas edificações (VIZIOLI *et al.*, 2019).

Saviane (2021) esclarece diversas questões sobre a obtenção de informações, inclusive sobre a problemática semântica acerca dos termos “levantamento” e “cadastro”. Entendamos aqui o termo “cadastro” como a união de diversos tipos de



informações sobre uma edificação histórica, que podem ter como métodos de obtenção, diversas formas de “levantamento” (bibliográfico, métrico, documental, etc.).

Como relatam Amorim, Groetelaars e Lins (2008), as principais tecnologias de levantamento de dados para arquitetura eram, já no ano de 2008, a fotogrametria digital, a medição direta, o escaneamento tridimensional a *laser* e os sistemas de informações geográficas. Atualmente, estes métodos ainda continuam sendo os mais utilizados, variando conforme a complexidade e a intenção do produto final a ser capturado.

Tolentino (2018) detalha que a escolha da tecnologia a ser utilizada depende de fatores específicos, como dimensão, localização, nível de precisão necessária, disponibilidade de ferramentas e conhecimento e disponibilidade de recursos financeiros.

Os diversos motivos pelo qual se demanda de um levantamento cadastral faz com que as escolhas dos métodos a serem utilizados para uma pesquisa ou captura de dados variem muito considerando os recursos financeiros, recursos ferramentais, recursos humanos (que considera o nível de habilidade e conhecimento dos profissionais), o tempo disponível, e a finalidade do cadastro. Consequentemente estes parâmetros irão influenciar em definições como nível de detalhe pretendido para o levantamento, o tempo gasto com a etapa de obtenção de informações e o método a ser utilizado.

Groetelaars (2015, p. 54-58) faz um rico apanhado sobre as diferentes classificações já discutidas em trabalhos diversos sobre “nível de detalhe” - English Heritage (2006), Letellier (2007), e Cramer e Breitling (2007). Na tese, é demonstrado como cada um dos três trabalhos citados conceituam e sistematizam o assunto.

É válido esclarecer também alguns conceitos em relação aos termos “*as-designed*”, “*as-built*” e “*as-is*”. São termos utilizados para descrever a fase histórica ou construtiva.

*As-designed* – “como projetado”, se refere às informações da fase de projeto, que ainda estão em fase de planejamento e ainda não foram construídas.

*As-built* – “como construído”, refere-se à configuração da edificação logo após a etapa de construção, ou até mesmo durante a obra. Comumente utilizado no mercado de AECO para atualização de documentações *as-designed*.

*As-is* – “como está” ou “como é”, se refere à configuração da edificação como está no presente, independentemente de como foi projetada ou construída.

Tais definições dos termos foram relatadas por diversos autores como Groetelaars e Amorim (2012), Dezen-Kempton *et al.* (2015), Eastman *et al.* (2011), Huber e Akinci (2011) e Cuperschmid *et al.* (2018), que também concluem que o termo *as-is* apresenta maior coerência que o termo *as-built* quando se trata de edificações históricas, por considerar a configuração atual da edificação que deve ser cadastrada e conservada, com todas suas deformações e desgastes sofridos com o passar do tempo.

Uma captura de nuvem de pontos de uma edificação muito antiga, por exemplo, irá obter informações que irá conter todo o desgaste de materiais, deformações de suportes e elementos integrados, intervenções e substituições pontuais, que podem ter sido executadas (*as-built*) conforme o projeto (*as-designed*), mas foram modificadas com o passar do tempo.

Como etapa inicial no levantamento cadastral de edificações, deve ser feito o levantamento métrico, que consiste em obter as dimensões e informações geométricas gerais da edificação e de todos os seus elementos. Deve-se levantar todas as formas da edificação, dimensões horizontais, verticais, e comumente, em medições diretas (analógica), diagonais que funcionam como “amarração” para conferência em consideração a alterações de esquadro na construção. Tais alterações nas geometrias dos elementos são encontradas principalmente em edificações históricas, que podem ter sido construídas com técnicas e sistemas construtivos artesanais, ou podem ter passado por modificações físicas pela idade dos materiais ou movimentações estruturais.

Outra etapa também importante e basal no levantamento cadastral é o levantamento fotográfico, que tem o objetivo de registrar de forma mais realista a aparência da edificação. No caso de edificações históricas, irá ilustrar o estado de conservação dos materiais, interfaces dos elementos construtivos (velhos e/ou novos), relação com

vizinhos, questões de uso e outras características que podem ser relevantes para o registro documental seja por motivos históricos ou técnicos de intervenção.

Após os levantamentos físicos-materiais, o cadastro – que deve ser um banco de dados sobre o bem - deve receber informações históricas, afetivas, de uso e de registros imateriais diversos.

O presente trabalho volta o olhar para as etapas iniciais de obtenção de informações – as físicas e pictóricas, e sobre os métodos para tal. Atualmente, com o avanço das tecnologias digitais, pode-se dividi-los inicialmente entre métodos analógicos e digitais.

Os métodos analógicos consistem basicamente na utilização de ferramentas não computadorizadas para captura das informações geométricas da edificação. É comum o uso de trenas manuais ou a *laser* para medições simples, moldeiras de curva para obtenção de perfis geométricos, prumo para diferenciação de inclinações, e diversas outras ferramentas que podem cumprir situações diversas de obtenção de dimensões, inclinações e formas.

- Para o registro das informações obtidas, comumente são utilizados croquis feitos in-loco que auxiliam as anotações de medidas e outras características de forma mais rápida e livre, como uma etapa anterior a da preparação de um desenho técnico mais adequado e assertivo. Podem também ser utilizados os eidotipos – bases pictóricas com caráter preparatório da etapa de medição, mas que seguem alguns critérios: contém os principais desenhos intencionados para os planos finais, geralmente com uma certa acuidade de proporção para evitar erros grosseiros de medição, e com um planejamento de cotas que guiará a etapa de medição (SAVIANE, 2021).

Inclui-se nesta categoria, a utilização dos sentidos humanos, principalmente na etapa de diagnósticos, onde a visão e tato são grandes aliados para a compreensão de danos e características materiais. Por exemplo, para um mapeamento de danos, a aparência, temperatura ou fragilidade dos materiais, tal como a localização de determinadas características podem levar a conclusões sobre o comportamento da edificação e dos agentes patológicos a serem combatidos.

Salvo em edificações e elementos muito complexos, os métodos analógicos ainda são os mais comuns por, de forma geral, apresentar custo mais reduzido de execução e acessibilidade na obtenção e manuseio das ferramentas disponíveis.

Os métodos digitais consistem em ferramentas e procedimentos que utilizam das tecnologias digitais para executar a captura e análise de dados para o levantamento cadastral. As técnicas para captura de realidade, com os produtos de nuvens de pontos possuem muitas vantagens para o cadastro: captura automatizada, grande quantidade de dados no mesmo produto, precisão de informações, velocidade da operação de levantamento, possibilidade de documentação para elementos de difícil acesso ou que apresentam algum nível de fragilidade, dentre outras.

Várias finalidades e métodos se colocam na aplicação do Patrimônio Digital, como já explicitado, porém na presente pesquisa, os métodos digitais especificamente para a captura de informações físicas para o cadastro serão o recorte adotado. Nas seções seguintes, o trabalho discorre sobre a fotogrametria e o escaneamento como métodos principais de captura de realidade digital atualmente.

### 2.3.1 FOTOGRAMETRIA

A fotogrametria, conforme Tolentino (2018), é a “execução de desenhos e modelos geométricos através de fotografias dos objetos e *softwares* específicos de restituição e montagem das mesmas”. Conforme Groetelaars (2015), resumidamente, “é uma técnica que permite extrair das fotografias, as formas, as dimensões e as posições dos objetos”.

Desde o início de seu desenvolvimento, no século XIX, a fotogrametria sofreu muitas transformações, principalmente com a inclusão de ferramentas digitais, para o que antes era analógico e altamente especializado (GROETELAARS, 2004). Groetelaars (2015, p. 117) faz uma retomada histórica das origens da fotogrametria e discorre sobre o caminho da fotografia e da Visão Computacional até o conceito de aplicação atual.

Atualmente, após todo um caminho de evolução da fotogrametria, a técnica mais comum usada para edificações é o *Dense Stereo Matching* (DSM), que consiste correlação automatizada de pixels em fotografias feitas em sequência e com sobreposições entre si (GROETELAARS, AMORIM, 2012 b). Em suma, as fotografias tomadas são inseridas em *softwares* de processamento fotogramétrico, que reconstroem tridimensionalmente os elementos capturados nestas fotografias, por meio de sobreposições de pixels. Para isso, as fotografias devem ser tomadas de forma sequencial, em diversos ângulos e pontos de captura, e com grande área de sobreposição entre si.

Existe, para um levantamento fotogramétrico, uma cadeia de procedimentos a serem seguidos até a obtenção do produto final de restituição tridimensional digital:

- Identificação e compreensão do elemento ou edificação a ser escaneada – análise de informações sobre a volumetria, escala de detalhes, características das superfícies, geometria, e outros dados sobre o que se tem a intenção de capturar;
- Planejamento das tomadas fotográficas – feito considerando as informações percebidas no primeiro passo e tem finalidade de fazer uma projeção dos posicionamentos, angulações e quantitativo do levantamento fotográfico;

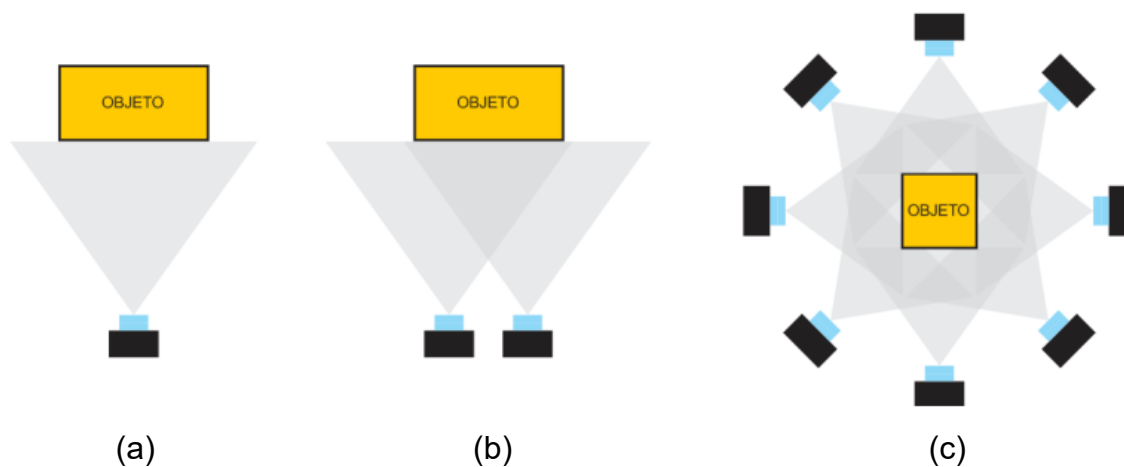
- Tomadas fotográficas – execução em campo do planejamento feito, buscando capturar todo o elemento que está sendo levantado, com iluminação adequada, melhor resolução de imagem possível, e alto nível de sobreposição entre as fotografias;
- Levantamento métrico de referência – medição por método analógico, utilizando de ferramentas manuais com intenção de ter referências para controle de precisão e determinação de escala da restituição;
- Importação das fotografias em software de restituição fotogramétrica e configuração das entradas – inserção das imagens para restituição e configuração do software para a execução das etapas de restituição e níveis de qualidade desejados. Nos softwares atuais, geralmente a identificação de parâmetros da câmera, aberturas e distorções de lente, resolução de imagem, etc., são identificados automaticamente pelos metadados dos arquivos. Nesta etapa também podem ser inseridos controles (pontos ou distâncias) para identificação de sobreposição das imagens e dimensões de referência para definição de escala do produto restituído. Estes controles também podem ser inseridos em outros momentos, na medida de demanda do processo;
- Processamento dos produtos da restituição fotogramétrica – alinhamento das imagens, construção da nuvem de pontos, malhas triangulares irregulares, texturização, colorização ou outros produtos gerados pelo software de restituição;
- Exportação de produtos – exportação em arquivos compatíveis com outros softwares ou processos intencionados para a utilização do modelo gerado, como nuvens de pontos, modelos texturizados, ortofotos, animações, etc.

De forma clara e precisa, Groetelaars (2015) discorre sobre as diversas formas de classificação técnica da fotogrametria:

- Por posicionamento da câmera:
  - terrestre – ou à curta distância, quando o equipamento fotográfico se posiciona no solo ou próximo a ele;
  - aérea – ou aerofotogrametria, quando o equipamento fotográfico está aerotransportado, em veículo aéreo não tripulado (VANT), ou outro veículo que realiza voos;

- orbital – quando o equipamento de captura está posicionado em satélites, utilizados para a captura de grandes áreas terrestres.
- Pelo número de fotografias - Figura 4:
  - monorrestituição – quando se utiliza de apenas uma fotografia, para obtenção de produtos mais rápidos e simplificados. Possui certa limitação na precisão nos resultados e nas possibilidades de produto;
  - estereorestituição – quando se utiliza de múltiplas fotografias paralelas ou com pequenas angulações entre si, com sobreposições. Apresenta bons resultados e possibilidades de automatização do processo;
  - restituição de múltiplas fotografias convergentes – quando se utiliza de múltiplas fotografias, de diversas posições e angulações e processamento interativo.

Figura 4 – Ilustrações exemplos de tomada fotográfica em diferentes situações: (a) monorrestituição; (b) estereorestituição; (c) restituição de múltiplas fotografias convergentes.



Fonte: GROETELAARS, 2015.

O posicionamento da câmera também pode variar conforme a intenção de captura, que pode ocorrer com um volume inteiro a ser capturado, apenas uma face deste volume ou até mesmo uma porção específica deste volume. Por exemplo, para a captura de uma só face de um volume, como uma fachada de uma edificação, pode-se utilizar da tomada de fotografias paralelas ou com angulações entre si - Figura 5.

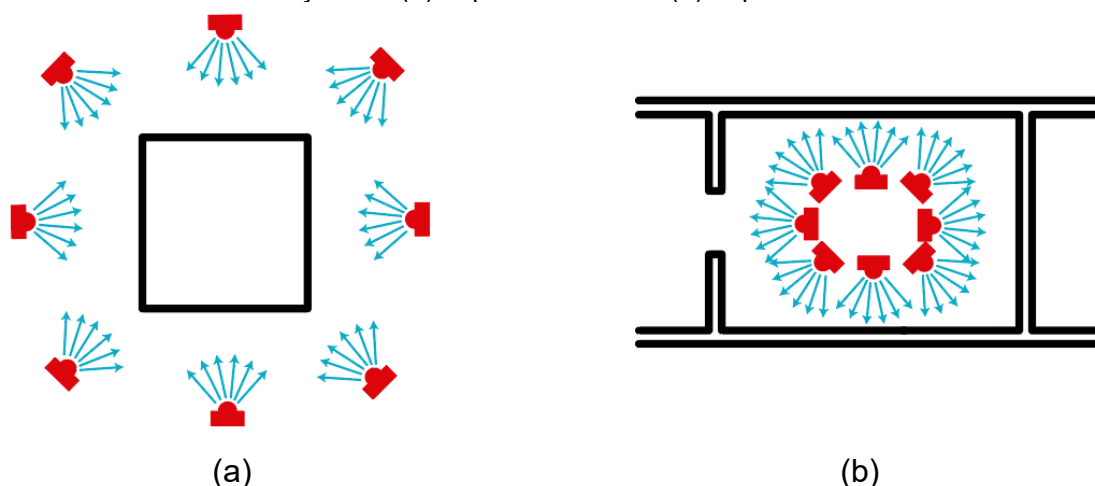
A variação pode acontecer também com relação ao posicionamento interno ou externo a ser capturado. - Figura 6.

Figura 5 – Esquema ilustrativo exemplificando a posição de tomadas fotográficas para restituição por (a) fotografias paralelas com angulação entre si e (b) fotografias paralelas.



Fonte: autor, 2023.

Figura 6 - Esquema ilustrativo exemplificando o direcionamento das tomadas fotográficas para restituição em (a) captura externa e (b) captura interna.



Fonte: autor, 2023.

Existem claras vantagens do uso da fotogrametria em comparação aos métodos manuais e ao escaneamento a *laser*. Em comparação aos métodos manuais, permite captura de geometrias mais complexas e captura outras camadas de informação além das dimensões (cores, deformidades, etc.). Em comparação ao escaneamento a *laser*, possui custo mais baixo já que pode ser executada exclusivamente com câmeras fotográficas (além do uso de softwares especializados – característica de ambos).

Porém as possíveis desvantagens também são claras. Como destacam Dias *et al.* (2021, p. 45):



[...] existem limitações relacionadas aos levantamentos fotogramétricos, especialmente: na definição de parâmetros e no controle da precisão dos resultados, o que pode sugerir que seja associado a medições diretas para conferência dos elementos [...]; quando realizado em áreas externas, o levantamento depende das condições climáticas [...]; superfícies homogêneas e padrões repetitivos dificultam a correspondência de imagens e, conseqüentemente, comprometem o resultado, sendo necessário um ajuste manual dos parâmetros, resultando em um tempo de processamento mais longo; a qualidade e velocidade do processamento dependem da robustez do equipamento utilizado, o que também pode comprometer o resultado obtido.

Portanto questões como a qualidade do equipamento de captura, a dependência do clima para capturas externas, e a preparação de superfícies com aparência homogênea ou de padrão repetitivo, devem ser analisadas com cuidado para a escolha do método.

A *Epic Games*, através da comunidade e plataformas de conteúdos sobre captura de realidade criadas para suporte de uso ao *software RealityCapture*<sup>3</sup>, fornece diversas videoaulas, tutoriais e fóruns de contato a respeito da utilização das ferramentas do *software* e também sobre os processos envolvidos no levantamento de dados para o desenvolvimento de modelos de captura.

Em uma das videoaulas, o conteúdo coloca recomendações para a tomada de fotografias para reconstituição fotogramétrica:

- Não limite a quantidade de fotografias.
- Use a resolução mais alta possível.
- Não tome fotografias fora de foco.
- Cada ponto deve ser visível em ao menos duas imagens.
- Faça uma volta completa ao redor do objeto e também busque capturar várias alturas.
- Não altere o ponto de vista mais de 30 graus.
- Siga a forma do objeto.
- Mantenha alta sobreposição entre as imagens.
- Não tire fotos panorâmicas.

---

<sup>3</sup> [www.capturingreality.com](http://www.capturingreality.com) – Acesso em: 17 jan. 2023

- Evite objetos em movimento (por exemplo, algo se movendo com o vento)
- Evite objetos transparentes ou brilhantes, se possível.
- Evite texturas repetitivas.
- Mantenha condições de iluminação constantes.

Atualmente, além das produções científicas sobre a fotogrametria, existem diversos tutoriais disponíveis na internet sobre o uso da fotogrametria, criado pelas equipes de desenvolvimento de *softwares* e também por usuários do método que relatam suas experiências de aplicação prática.

### 2.3.2 ESCANEAMENTO A LASER

Outro método de captura de realidade é o escaneamento a *laser*. LASER, que vem de *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, pode se referir tanto ao dispositivo que produz a “luz *laser*”, quanto à própria luz. Através do Electronic Distance Measurement (EDM), no fim do século XX, o laser começa a ser utilizado na área de Engenharia Civil e Topografia.

Também na segunda metade do século XX, na década de 1970, os sensores Lidar (Light Detection And Ranging) começam a ser implantados em usos aplicados de maior relevância, como em sensores para plataformas aéreas, visto que posteriormente, nos anos 1980 o Lidar recebeu integração do *Inertial Navigation System* (INS) e do *Global Position System* (GPS), que gerou configuração próxima do Lidar que é utilizado hoje. O Lidar também é conhecido como “sistema de tempo de voo” (Groetelaars, 2015), pois é um sensor que mede distâncias através do cálculo de tempo entre a emissão e o retorno da luz de *laser* saída do equipamento – princípio de Detecção Remota. O feixe de *laser* é emitido na superfície do elemento a ser escaneado, e parte da luz é refletida para o sensor, que mede a distância considerando o tempo do percurso. Tudo isso acontece em um tempo muito reduzido, fazendo que o *scanner* seja capaz de capturar em segundos, centenas de milhares de pontos.

Conforme Carson *et al.* (2004) *apud* Rascão (2019), a primeira aplicação citada sobre o Lidar é de 1996, em levantamento para inventário florestal. Dongzhen *et al.* (2009) coloca que o *Terrestrial Laser Scanning* (TLS) foi utilizado pela primeira vez na área industrial em 1998. Groetelaars (2015) e Rascão (2019) discorrem de forma mais detalhada sobre todo o histórico e evolução do laser desde o conceito do efeito fotoelétrico de Einstein, até os sensores de hoje.

Conforme Assumpção e Cuperschmid (2019), e Rascão (2019), o *Terrestrial Laser Scanning* (TLS) é o uso de tecnologia de medição em equipamento terrestre que, complementado por unidades de georreferenciação, utiliza do sensor para levantamentos rápidos e precisos. O TLS, após algumas versões de evolução do formato de equipamento, culminou no *Hand-held Mobile Laser Scanner* (HMLS), que além do uso do GPS para o melhor funcionamento do Lidar, foi complementado pelo

*Simultaneous Localization and Mapping* (SLAM) que também faz um papel de localizador (utilizando de mapeamento de ambientes) mesmo quando o GPS tem recepção de sinal fraco (Bauwens *et al.* 2016).

O *laser scanner* representa um conjunto de dispositivos, formado pela unidade de emissão do *laser*, unidade de deflexão, e unidade de recepção, processamento e registro do *laser* refletido.

A

Figura 7 exemplifica, através de um conjunto de *scanners* da marca *Leica*, a aparência de um *laser scanner* atualmente.

Figura 7 – Laser scanners da marca Leica - BLK360, RTC360 e ScanStation P50.



Fonte: Catálogo de Scanners Leica Geosystems, 2023.<sup>4</sup>

O escaneamento a *laser* pode ser classificado em função da tecnologia, do alcance e do posicionamento do sistema de varredura (GROETELAARS, 2015). Em função da tecnologia: (a) Lidar, (b) diferença de fase, ou (c) triangulação. Em função do alcance: (a) muito curto – até 25m, (b) curto – até 120m, (c) médio - até 500m, (d) longo – até 3500m, e (e) muito longo – mais de 3.500m. Em função do posicionamento: (a) TLS – terrestre, ou (b) *Aerial Laser Scanning* (ALS) – aerotransportado. O Quadro 1 resume e coloca as informações em comparação baseado nos grupos de classificação citados.

Quadro 1 - Grupos de classificação de escaneamento a laser e seus valores de alcance e precisão média.

TECNOLOGIA	ALCANCE	POSICIONAMENTO	VALORES DE ALCANCE (m)	PRECISÃO MÉDIA (mm)
Triangulação	Muito curto	TLS	0,1 a 25	0,050 – 0,5

<sup>4</sup> <https://leica-geosystems.com/pt-br/products/laser-scanners/scanners> Acesso em 15/02/2023.

Diferença de fase	Curto	TLS	5 a 120	5
<i>Lidar</i>	Médio	TLS	5 a 500	3-6
	Longo	TLS / ALS	50 a 3500	15
	Muito longo	TLS / ALS	50 a 6000	15 - 20

Fonte: Groetelaars (2015), com adaptações do autor.

Uma diferença importante entre o TLS e o ALS, é que no escaneamento pelo equipamento aerotransportado, é necessária a presença de uma “unidade de medição inercial”, que se encarrega de calcular todas as direções de inclinação do sensor.

A escolha do equipamento a ser utilizado para um levantamento deve se basear em todas as características de cada um, somada à disponibilidades de recursos, seja financeiro ou técnico. Cada finalidade viabilizará uma qualidade de produto. Por exemplo, o escaneamento por triangulação possui o alcance curto, mas a precisão média submilimétrica, e pode ser o equipamento ideal para elementos menores ou que possibilitam uma boa proximidade, e que necessite da captura de detalhes de forma mais precisa. O *Lidar* é uma opção adequada para a captura de edificações, pois possui precisão milimétrica e alcance de médio a muito longo, ideal para capturas que também podem ser detalhadas, mas que conseguem efetuar a varredura em todas as áreas na escala de uma edificação com facilidade.

Nas últimas décadas, o escaneamento a laser evoluiu significativamente no desenvolvimento tecnológico dos *scanners* e também na qualidade dos *softwares*, fazendo com que os custos, ainda que não tão acessíveis, reduzissem em comparação ao passado. Os *laser scanners* estão sendo usados cada vez mais para finalidades diversas como levantamentos industriais, de geologia, arqueologia, arquitetura, engenharia, etc.

Um exemplo atual e que tem apresentado sucesso na aplicação do levantamento por escaneamento a *laser* é o projeto *#SaveUkrainianHeritage*<sup>5</sup>, executado pela empresa *Skeiron*, que tem como objetivo escanear o máximo de bens edificados possível para salvaguarda frente ao cenário de guerra do país. O material pode ser acessado pelo

---

<sup>5</sup> <https://skeiron.com.ua/en/saveukrainianheritage> Acesso em 20/01/2023.

site do projeto ou pela conta da empresa na rede social Instagram<sup>6</sup>, onde são feitas suas publicações de acompanhamento do trabalho do projeto.

Outra aplicação mais recente que vale ser citada, pelo nível de impacto cultural que ela pode proporcionar, e pela proximidade com o cotidiano, é o uso em carros autônomos. Carros autônomos podem ser considerados robôs móveis que possuem diferentes sistemas para movimento independente por meio de percepção ambiental (FILHO *et al.*, 2015). Tal percepção é possibilitada por sensores Lidar, junto a câmeras, radar, entre outros.

Recentemente, alguns dispositivos portáteis passaram a serem fabricados com sensor Lidar nativo. Alguns smartphones como *Apple Iphone 12 Pro*, *Apple Iphone 13 Pro* e *Apple Iphone 13 Pro Max*, e tablets como o *Apple Ipad Pro* já possuem o sensor e divulgam a presença dele como possibilitador de levantamentos métricos simplificados, medições para decoração e utilização de Realidade Aumentada (RA). A empresa Apple foi pioneira neste mercado, implantando para o sistema operacional utilizado por ela, o *iOS*, e até o momento, nenhum *smartphone* com outro sistema operacional possui o sensor.

Desde o lançamento dos dispositivos citados, alguns trabalhos científicos foram publicados testando e relatando o uso dos mesmos para capturas de bens patrimoniais – edificações, elementos construtivos, esculturas, etc. Teppati Losè (2022) e Vacca (2023) executaram comparativos entre os resultados de capturas feitas por aplicativos (software), dispositivos (hardware) e técnicas diferentes. Ambos os trabalhos focaram em testar os fluxos de trabalho dos aplicativos e capacidade das capturas em fornecer produtos com precisão de dimensões e texturas, e consideraram os testes promissores do ponto de vista técnico.

Atualmente existem alguns aplicativos que se propõem a fazer a captura utilizando dos equipamentos *Apple*, hora utilizando exclusivamente do sensor *Lidar*, hora com complementação das câmeras também presentes nos dispositivos.

---

<sup>6</sup> <https://www.instagram.com/skeiron.llc> Acesso em 20/01/2023.

### 3 METODOLOGIA

Todas as escolhas de aplicação conceitual metodológica da presente pesquisa foram feitas em consideração à complexidade do tema, às problemáticas levantadas e aos objetivos a serem alcançados. Considerando que a intenção aqui é de expor características dos métodos digitais de captura de realidade a fim de promover um comparativo, optou-se por aplicar tais métodos em campo, por coleta primária de dados, e em mesmos objetos de estudo para tornar a comparação de dados coerente e representativa.

A escolha dos métodos a serem comparados considerou, para o primeiro experimento, que a fotogrametria e o escaneamento a laser (TLS) são atualmente os dois principais métodos utilizados para captura de realidade de edificações, uma vez que apresentam bons resultados nos produtos gerados e são cada vez mais considerados acessíveis do ponto de vista mercadológico. Para o segundo experimento, foi considerado, além dos pontos supracitados sobre a fotogrametria, o caráter contemporâneo e pouco explorado do sensor *Lidar* em dispositivo portátil para funções especializadas, e que ao comparar o uso da ferramenta com outro método, pode-se colaborar em um parecer técnico da ferramenta para captura de realidade para edificações.

O presente trabalho, do ponto de vista metodológico, tem natureza aplicada e objetivo exploratório. Conforme UFRGS (2009), a natureza aplicada se dá pela intenção de gerar conhecimentos de aplicação prática, voltados para a resolução de problemas específicos da temática. O objetivo exploratório se dá pela intenção da pesquisa em proporcionar maior familiaridade com o tema e com a problemática exposta, além da análise de exemplos para proporcionar a compreensão dos mesmos.

Quanto à abordagem, permeia entre a qualitativa e a quantitativa, uma vez que busca de forma geral compreender o assunto e analisar as informações empiricamente – características de uma pesquisa de abordagem qualitativa; enquanto simultaneamente utiliza de procedimentos estruturados, coletando dados e os analisando de forma estatística em alguns momentos.

O Referencial Teórico foi produto de pesquisa bibliográfica que tem a finalidade de criar aporte teórico basal e conhecimento do estado da arte da temática tratada, por

meio de seleção de artigos, livros, dissertações e teses sobre os temas pertinentes ao trabalho.

Posteriormente, com amplo aproveitamento do conhecimento obtido no Referencial Teórico, apresenta-se pesquisa experimental que aplica tal conhecimento em situação de experimentação, com finalidade de colaboração teórica e prática na temática de captura de realidade e levantamento cadastral de edificações históricas. Nos experimentos, utilizou-se também do procedimento de pesquisa de campo, quando se buscou informações e coletou-se dados *in-loco*.

Para os experimentos, o fluxo do procedimento se apresentou da seguinte forma:

- identificação dos conceitos a serem experimentados e comparados;
- escolha de objeto de pesquisa;
- planejamento de pesquisa de campo para obtenção das informações necessárias;
- execução de pesquisa de campo;
- análise e manipulação dos dados obtidos em campo;
- análise dos resultados experimentais de forma comparativa e relatoria.



### 3.1 EXPERIMENTOS

A presente pesquisa experimental tem a finalidade de comparar métodos de captura de realidade, tendo como método central a fotogrametria. No primeiro momento, a comparação metodológica é feita entre a fotogrametria – mais especificamente o DSM -, e o escaneamento terrestre a *laser*. Em um segundo momento, compara-se a fotogrametria com um dispositivo portátil com sensor *Lidar*.

Em ambos os comparativos, o trabalho de captura por fotogrametria foi executado pelo autor, tal como a captura pelo *Lidar* portátil. Para a captura por escaneamento a *laser*, considerando a dificuldade de acesso do equipamento e especialidade do conhecimento para a manipulação do mesmo, a viabilidade do material para o comparativo foi obtida por fornecimento de produto de captura já realizada.

Os arquivos com nuvens de pontos oriundas de escaneamento a *laser* foram fornecidos pela empresa Estúdio Nuv, que já havia executado o trabalho anteriormente. Junto ao produto da captura, foram também fornecidas informações sobre os procedimentos metodológicos utilizados para o levantamento.

A separação da pesquisa em dois comparativos distintos, inclusive, pode já ser tratada como um ponto de atenção com relação à acesso, uma vez que foi consequência de certa indisponibilidade dos equipamentos de escâner a *laser* e *Lidar* portátil.

O escaneamento a *laser* (TSL) no Espaço Comum Luiza Estrela - objeto de estudo do segundo comparativo - foi inviabilizado, considerando a falta de recursos financeiros e profissionais qualificados para tal.

Para os objetos de estudo definidos pelo fornecimento dos produtos de escaneamento a *laser* pela *Estúdio Nuv* – edificações em Conceição do Mato Dentro -, houve a indisponibilidade do equipamento com *Lidar* portátil.

Considerando os poucos dispositivos portáteis que possuem o sensor *Lidar* atualmente, o alto custo de se adquirir um *smartphone* especificamente para o uso do sensor, e a indisponibilidade mercadológica de locação do equipamento, a solução dada foi a do empréstimo do equipamento, que se encontrava indisponível para os objetos de estudo já capturados pelo escaneamento a *laser*.

Os métodos utilizados tanto no primeiro quanto no segundo comparativo, se limitaram à utilização de ferramentas terrestres únicas em cada etapa, sem o uso de VANT ou de outras ferramentas aéreas ou com variação de altura no processo de captura.

A presente experimentação tem a intenção de comparativo prático entre os métodos que possibilite compreensões pontuais mais assertivas das qualidades e deficiências de cada um, tornando mais assertiva e eficaz a escolha de métodos e ferramentas, ou até mesmo uma soma entre eles, considerando a finalidade da captura.

Assim, foram definidos os seguintes pontos de comparação:

- Acesso (custo e disponibilidade)
- Conhecimento demandado
- Tempo da captura
- Complexidade do processo de captura
- Qualidade do produto
- Nível de controle da qualidade do produto

Cada item faz um comparativo considerando as informações do experimento, com a intenção de contribuir para possíveis decisões de escolha entre os métodos para trabalhos práticos de captura de realidade, principalmente quando se há limitações ou demandas específicas nos pontos de comparação definidos.

### **3.1.1 COMPARATIVO ENTRE FOTOGRAMETRIA E ESCANEAMENTO A LASER**

#### **3.1.1.1 OBJETO DE ESTUDO**

Para este comparativo, foram utilizados dois objetos de estudos: a Cadeia Velha, e a antiga Casa de Força e Luz, ambos na cidade de Conceição de Mato Dentro, Minas Gerais, Brasil. Ambas as edificações não possuem um registro histórico com muitas informações além das Fichas de Inventário de Proteção fornecidas pela própria Prefeitura Municipal da cidade, que apresentam informações sucintas sobre a significância atribuída e características construtivas simplificadas.

Construída em 1840 e inaugurada em março de 1842, a Cadeia Velha de Conceição do Mato Dentro serviu como Fórum, Cadeia pública e Câmara Municipal durante o século XIX. Após 1905, com a transferência da Prefeitura e da Câmara para outro local, continuou funcionando no prédio a cadeia e o fórum. Se localiza em quadra isolada, um pouco abaixo da Praça Dom Joaquim e da Escola Estadual Daniel de Carvalho, na Rua Daniel de Carvalho, 379.

O prédio possui, de acordo com seu documento de Inventário de Proteção do Acervo Cultural, “feições coloniais, mas apresentando alguns elementos novos”. Seu modelo corresponde ao modelo das antigas casas de câmara e cadeia, de dois pavimentos, onde funcionava com a câmara e fórum na parte superior e cadeia na inferior. Apresenta cobertura de telhado de madeira e telhas cerâmicas, de quatro águas e beirais com grandes cimalkas de madeira. É estruturado em alvenaria de pedras no pavimento inferior e de tijolos de adobe no superior, com fachadas pintadas e com esquadrias de madeira e vidro. Possui alpendre com escadaria em uma das fachadas, com lambrequim de madeira na cobertura do alpendre e balaustrada nos guarda-corpos da escadaria.

A edificação se encontra em bom estado de conservação, possui proteção acautelamento municipal, e hoje abriga a sede da Associação dos Municípios da Macrorregião do Médio Espinhaço (AMME) e órgãos municipais.

Figura 8 - Cadeia Velha em 2005. Fonte: Ficha de Inventário de Proteção do Acervo Cultural da Prefeitura Municipal de Conceição do Mato Dentro, 2005.



Fonte: autor, 2023.

Figura 9 - Cadeia Velha em 2023.



Fonte: autor, 2023.

Conforme sua Ficha de Inventário de Proteção do Acervo Cultural, especula-se que a antiga Casa de Força e Luz tenha sido construída na primeira metade do século XX, possivelmente na década de 1930, quando foram edificados os demais edifícios com as mesmas características arquitetônicas – estilo eclético.

Sua finalidade foi abrigar os equipamentos de distribuição de energia elétrica da cidade pela Empresa Concecionense de Eletricidade. Posteriormente, com o fornecimento destes serviços por outra empresa pública, a casa passou a ficar desativada e assim se manteve pelo final do século XX. Recentemente abrigou também a Secretaria Municipal de Cultura e Patrimônio Histórico e atualmente se encontra sem utilização, após ter passado por reforma.

É uma edificação de pequenas dimensões, em estilo eclético, construída em alvenaria e com cobertura de telhado de madeira com telhas cerâmicas. Sua fachada possui ornamentações típicas do eclético, platibanda que se eleva acima da cimalha, ultrapassando a altura do telhado com alteamentos decorados, e esquadrias de madeira e vidro.

Mesmo não possuindo proteção legal em nenhuma esfera, entende-se a edificação como patrimônio da cidade, que fez parte de sua história e desenvolvimento, além de expressar de forma simbólica e exemplar algumas características arquitetônicas da época de sua construção.

Figura 10 - Antiga Casa de Força e Luz em 1999. Fonte: Ficha de Inventário de Proteção do Acervo Cultural do Conselho Municipal do Patrimônio Cultural de Conceição do Mato Dentro, 1999.



Fonte: autor, 2023.

Figura 11 - Antiga Casa de Força e Luz em 2021.



Fonte: *Estúdio Nuv*, 2021.

Figura 12 - Antiga Casa de Força e Luz em 2023.



Fonte: autor, 2023.

### 3.1.1.2 ESCANEAMENTO A LASER (TLS)

Os escaneamentos foram realizados em julho de 2021 com scanner Leica RTC 360, que apresenta alta velocidade de digitalização e precisão milimétrica. As especificações técnicas do equipamento podem ser obtidas no catálogo comercial do fabricante<sup>7</sup>.

Figura 13 – Fotografia comercial do scanner Leica RTC 360.



Fonte: Catálogo comercial do equipamento, 2018.

O *workflow* (fluxo de trabalho) para o escaneamento seguiu as seguintes etapas:

- Estudo prévio de posicionamento do equipamento para antecipação de obstáculos;
- Posicionamento do scanner ao redor das edificações, visando a varredura completa dos panos de fachadas. As varreduras foram realizadas em qualidade média (6mm @ 10m), em cores;
- Coleta das cenas em campo;
- Pós-processamento das nuvens de pontos, que é essencialmente a junção de todos os pontos medidos por cenas independentes, num único sistema de

---

<sup>7</sup> <https://www.sccssurvey.co.uk/pdfs/reality-capture-solution/Leica-RTC360-Datasheet.pdf>. Acesso em 20/01/2023.



coordenadas. Para sua obtenção, as cenas realizadas no levantamento de campo são unidas por um processamento denominado “Registro”.

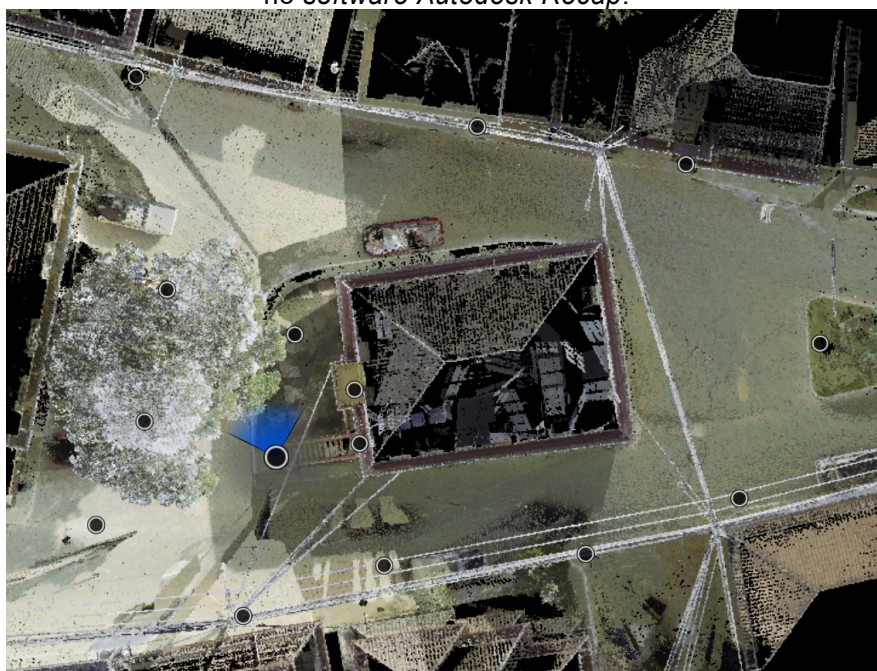
- Registro e otimização das nuvens de pontos, que foram exportadas em formatos .RCP e .e57.

A Figura 14 e a Figura 16 mostram mapas dos posicionamentos de varredura utilizados para o escaneamento da Cadeia Velha e da antiga Casa de Força e Luz, respectivamente, representados pelos círculos pretos. Na Cadeia Velha foram 15 posicionamentos e na antiga Casa de Força e Luz, 5. O número de varreduras foi proporcional à complexidade volumétrica de ambas as porções a serem capturadas nas edificações – uma, todo o volume externo, outra, somente a fachada frontal.

O *software* utilizado para a execução do registro foi o *Leica Cyclone Register*, onde todos os pontos de varredura foram unificados, e os pequenos ajustes de alinhamento formam possibilitados conforme necessidade.

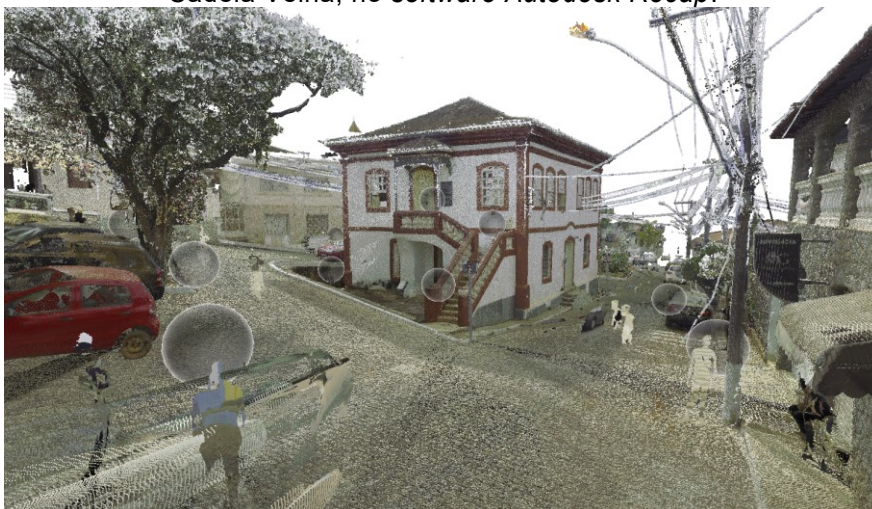
A Figura 15 e a Figura 17 mostram exemplos da visualização da nuvem de pontos completa, após o pós-processamento.

Figura 14 – Mapa de posicionamento de varreduras do escaneamento a *laser* da Cadeia Velha, no *software Autodesk Recap*.



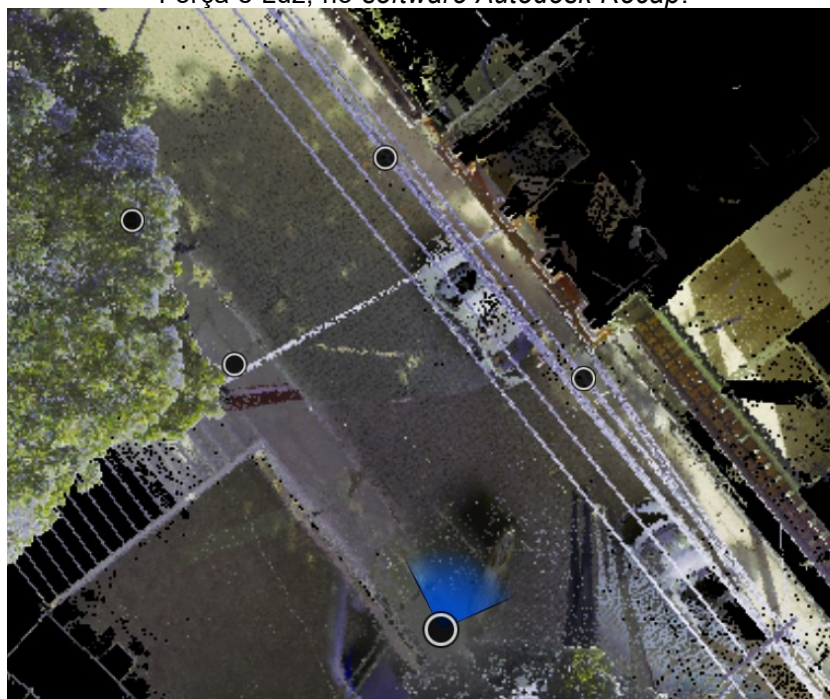
Fonte: autor, 2023.

Figura 15 - Visualização da nuvem de pontos completa vista de um dos pontos de varredura, da Cadeia Velha, no software Autodesk Recap.



Fonte: autor, 2023.

Figura 16 - Mapa de posicionamento de varreduras do escaneamento a laser da antiga Casa de Força e Luz, no software Autodesk Recap.



Fonte: autor, 2023.

Figura 17 - Visualização da nuvem de pontos completa vista de um dos pontos de varredura, da antiga Casa de Força e Luz, no *software Autodesk Recap*.



Fonte: autor, 2023.

### 3.1.1.3 FOTOGRAMETRIA

As tomadas fotográficas para a restituição fotogramétrica foram executadas em janeiro de 2023 utilizando da câmera fotográfica *Sony DSC-HX300* (Figura 18) e fotografias de 2736x3648 *pixels* de resolução.

Figura 18 – Câmera *Sony DSC-HX300*.



Fonte: autor, 2023.

Figura 19 – Tomada fotográfica na Cadeia Velha em Conceição do Mato Dentro--MG.



Fonte: autor, 2023.

Figura 20 – Tomada fotográfica na antiga Casa de Força e Luz em Conceição do Mato Dentro-MG.



Fonte: autor, 2023.

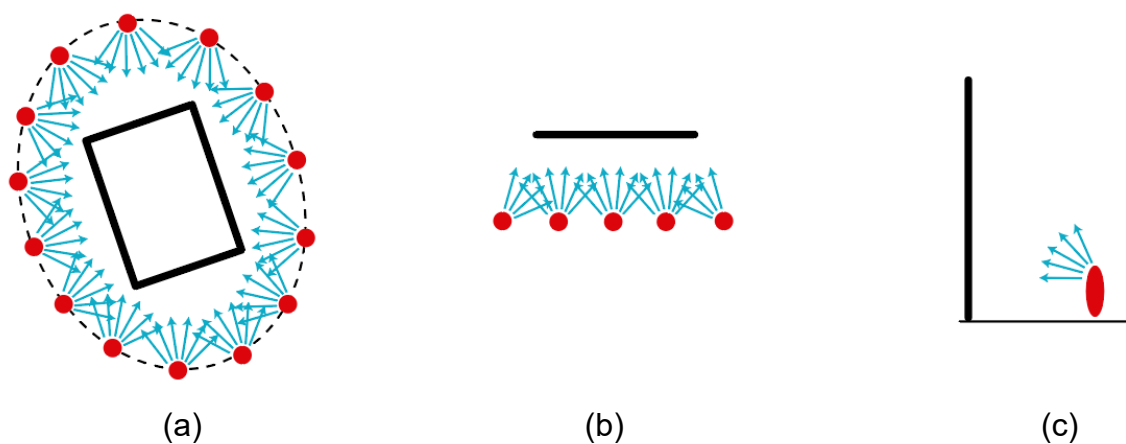
O trabalho seguiu as seguintes etapas:

- Estudo prévio de posicionamento para garantia de tomadas fotográficas mais abrangentes e que capturasse todas as perspectivas e ângulos possíveis;
- Tomada das fotografias conforme o planejamento;
- Medição de dimensões de ancoragem e conferência, feita de forma manual com trenas de fita e *laser*;
- Restituição fotogramétrica pelo software *RealityCapture*;
- Criação de pontos de controle, ajustes dimensionais e demais configurações necessárias para o melhor resultado possível da nuvem de pontos obtida.

O estudo de posicionamento foi consideravelmente diferente entre ambos os objetos de estudo, principalmente considerando que a captura na antiga Casa de Força e Luz foi apenas na fachada frontal, pequena e com altimetria baixa; e já na Cadeia Velha a captura considerou todas as quatro fachadas, com escada e alpendre.

Assim, para ambas as tomadas fotográficas, utilizou-se muitas fotografias, ângulos e sobreposições, com intenção de garantir a qualidade das entradas para a restituição por DSM. Para ambos os cenários, cada ponto horizontal de tomada fotográfica considerou diversos ângulos verticais, de forma a capturar todas as alturas com grande área de sobreposição entre cada fotografia – Figura 21.

Figura 21 - (a) Ilustração genérica do planejamento de tomada fotográfica na Cadeia Velha; (b) Ilustração genérica do planejamento de tomada fotográfica na antiga Casa de Força e Luz; (c) Ilustração genérica vertical da tomada fotográfica.



Fonte: autor, 2023.

As tomadas fotográficas, que podem vistas na Figura 22, consideraram o planejamento feito anteriormente como um guia para o método, junto a adaptações considerando ângulos e posicionamentos que melhorariam as sobreposições das fotografias, visto que a edificação possui reentrâncias no piso e fachada frontal, além do alpendre e os lances de escada de acesso a ele. Diversas fotografias foram tomadas em consideração a capturar todas as faces da contenção da rua na fachada lateral esquerda e suas reentrâncias, da escadaria e do alpendre por dentro – como pode ser visto na

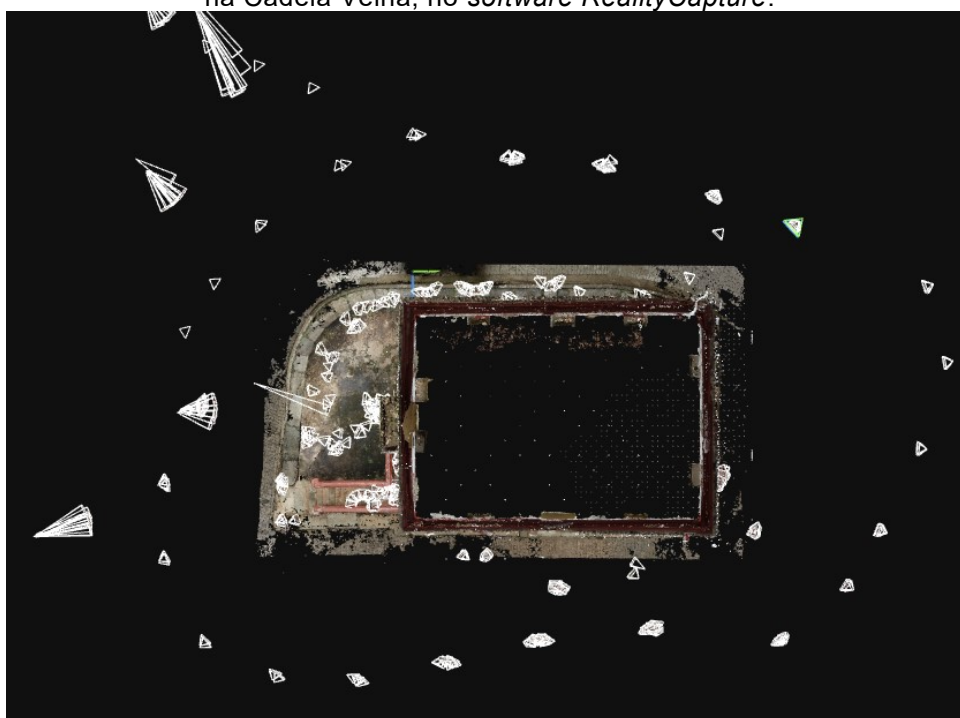
Figura 23.

Também os obstáculos da própria via pública, como movimentação de veículos e pessoas, mobiliário urbano e a possibilidade de uma mudança da luz natural faz com

que a tomada tenha que ser ágil e considere o planejamento o máximo possível, mas nem sempre perfeitamente.

Em consideração às orientações do *RealityCapture* e aos demais conhecimentos obtidos sobre uma tomada fotográfica de qualidade para a restituição, o posicionamento horizontal seguiu o máximo possível o contorno do perímetro do volume total da edificação com a intenção de manter uma padronização mínima para o distanciamento das fotografias. Ainda na busca de uma melhor qualidade na tomada fotográfica, buscou-se fotografar em momentos diurnos, quando havia luz natural suficiente, porém com incidência difusa, sem insolações diretas. Com sorte, nos dias planejados para as tomadas fotográficas, o dia se encontrava iluminado e nublado, proporcionando a iluminação ideal por tempo suficiente para o levantamento.

Figura 22 – Mapa de posicionamento das tomadas fotográficas para restituição fotogramétrica na Cadeia Velha, no *software RealityCapture*.



Fonte: autor, 2023.

Figura 23 – Nuvem de pontos da restituição fotogramétrica na Cadeia Velha, mostrando o posicionamento das tomadas fotográficas, no *software RealityCapture*.



Fonte: autor, 2023.

Considerando a topografia acentuada do local, e a possibilidade de tomada fotográfica de uma origem mais alta, algumas fotografias foram tomadas com uma variação de maior distância e aumento da distância focal, fazendo com que a fachada frontal contasse com alguns ângulos a mais a serem considerados pelo *software* de restituição - Figura 24.

Figura 24 – Nuvem de pontos da restituição fotogramétrica na Cadeia Velha, mostrando o posicionamento das tomadas fotográficas, no *software RealityCapture*.

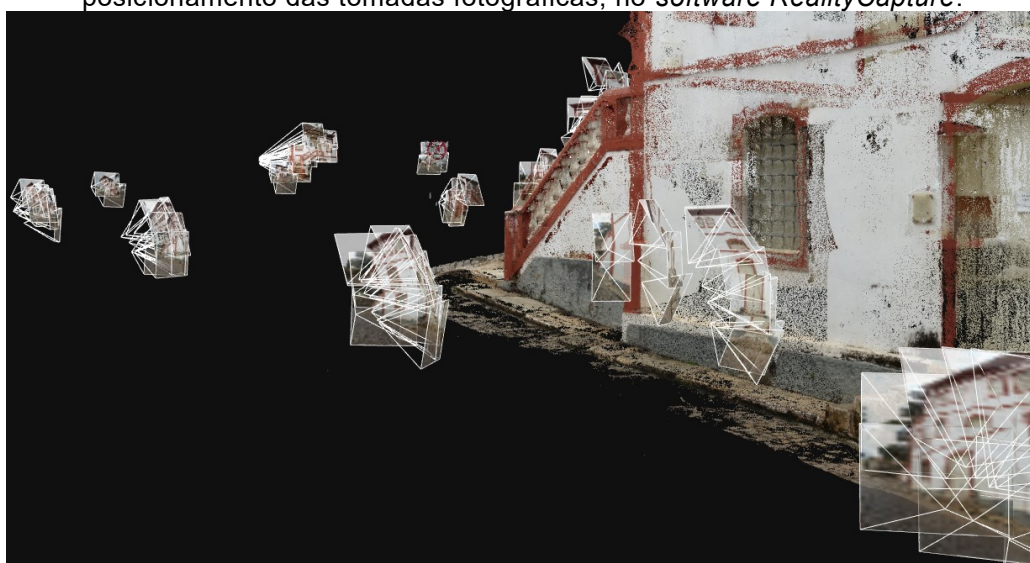


Fonte: autor, 2023.



A Figura 25 mostra a representação do *RealityCapture* das tomadas fotográficas em perspectiva, exemplificando a Figura 21(c) de forma aplicada – diversas variações na angulação vertical da tomada fotográfica.

Figura 25 – Nuvem de pontos da restituição fotogramétrica na Cadeia Velha, mostrando o posicionamento das tomadas fotográficas, no *software RealityCapture*.



Fonte: autor, 2023.

Após as tomadas fotográficas, foi utilizado do *software RealityCapture* para obtenção da nuvem de pontos por restituição fotogramétrica. O *software* possui uma interface que coloca o *workflow* de forma intuitiva e com possibilidade de um trabalho simplificado, sem muitas configurações, com poucos comandos.

O *workflow* do *RealityCapture* consiste em:

- Adicionar entradas (*add inputs*) - no caso, as fotografias tomadas;
- Alinhar imagens (*align images*) – é quando o *software* registra todas as entradas adicionadas e as espacializa, trabalhando com as sobreposições das fotografias. Nesta etapa já se consegue identificar quantas imagens foram alinhadas pelo *software* e irão funcionar como entrada para a produção da nuvem de pontos ou se não foi, por algum motivo, identificada como parte daquela tomada fotográfica com sobreposição;

- Calcular modelo (*calculate model*) – é quando o *software* utiliza das imagens adicionadas e alinhadas para a construção de um modelo 3D, que pode ser visualizado como uma nuvem de pontos (*point cloud*) ou malha (*mesh*) – renderizada ou não;
- Possibilidade de simplificação do modelo para redução do número de triângulos utilizados para a malha criada – *simplify tool*;
- Texturização e colorização (*texture, colorize*) – é quando o *software* calcula a textura do modelo e a colorização de cada parte da triangulação da malha, baseados nas entradas.

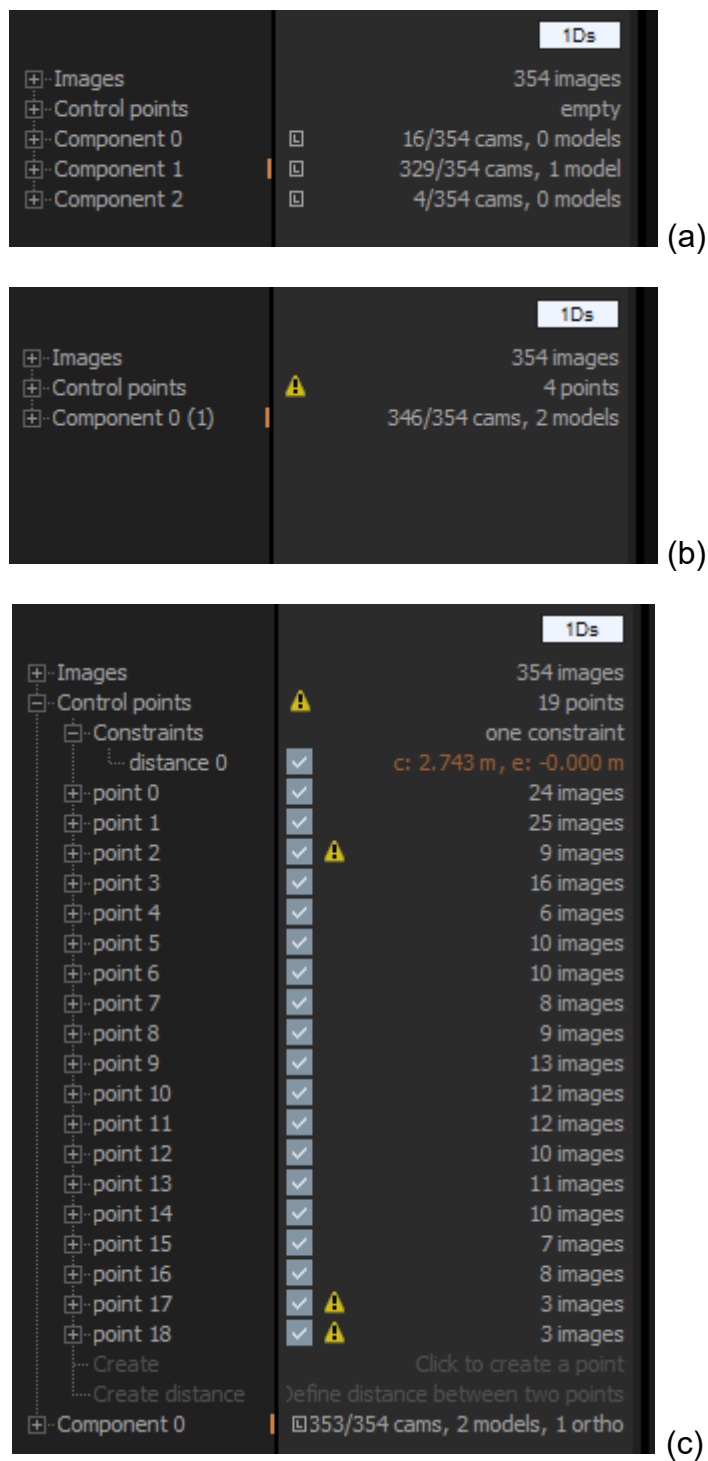
Na etapa de alinhamento, o *software* cria um “componente” para cada porção de entradas identificadas como um modelo, baseado nas entradas. Se todas as fotografias são identificadas como um só modelo, um componente é criado com um único alinhamento de imagens que poderá virar o modelo completo. Porém parte das fotografias pode ser identificada como um componente, e outra é identificada como outro componente – ou seja, as sobreposições das fotografias funcionam, mas podem não apresentar uma sobreposição tão clara.

Neste momento, caso na situação descrita, são criados os “pontos de controle” (*control points*), que funcionam como uma ancoragem de identificação entre as fotografias. São criados e inseridos nas entradas diretamente, com a intenção de identificar pontos específicos no maior número possível de fotografias, com a finalidade de indicar manualmente para o *software* que existe uma correlação entre as fotografias não alinhadas automaticamente pela sobreposição de imagem. Após a criação dos pontos de controle e aplicação nas entradas, volta-se para o item de alinhamento de imagens do *workflow* para que ocorra o recálculo das entradas, e a junção dos componentes em um só que considere todas as entradas para a construção do modelo.

Neste momento do *workflow* também é definida a escala do modelo, utilizando-se dos pontos de controle para definição de distâncias, onde serão inseridas as dimensões levantadas in-loco, e novo alinhamento de imagens para a construção de novo componente, desta vez com a escala correta.

A Figura 26 demonstra esta etapa do *workflow* executada no presente experimento com a reconstituição fotogramétrica da Cadeia Velha. Pode-se ver no painel de controle do *RealityCapture* uma demonstração de *workflow* com 354 imagens de entrada, onde: em (a), sem pontos de controle, o alinhamento criou 3 componentes distintos; em (b) após a criação de 4 pontos de controle, o alinhamento criou apenas 1 componente, já com 346 fotografias alinhadas; e em (c), após a criação de 19 pontos de controle e 1 distância, o alinhamento criou 1 componente, com 353 fotografias alinhadas e dimensionamento correto.

Figura 26 – Painel de controle do *RealityCapture* no arquivo do modelo da Cadeia Velha, demonstrando um *workflow* com 354 imagens de entrada, onde (a) sem pontos de controle, com 3 componentes; (b) com 4 pontos de controle, apenas 1 componente, 346 fotografias alinhadas; (c) 19 pontos de controle, 1 distância, 1 componente, 353 fotografias alinhadas.

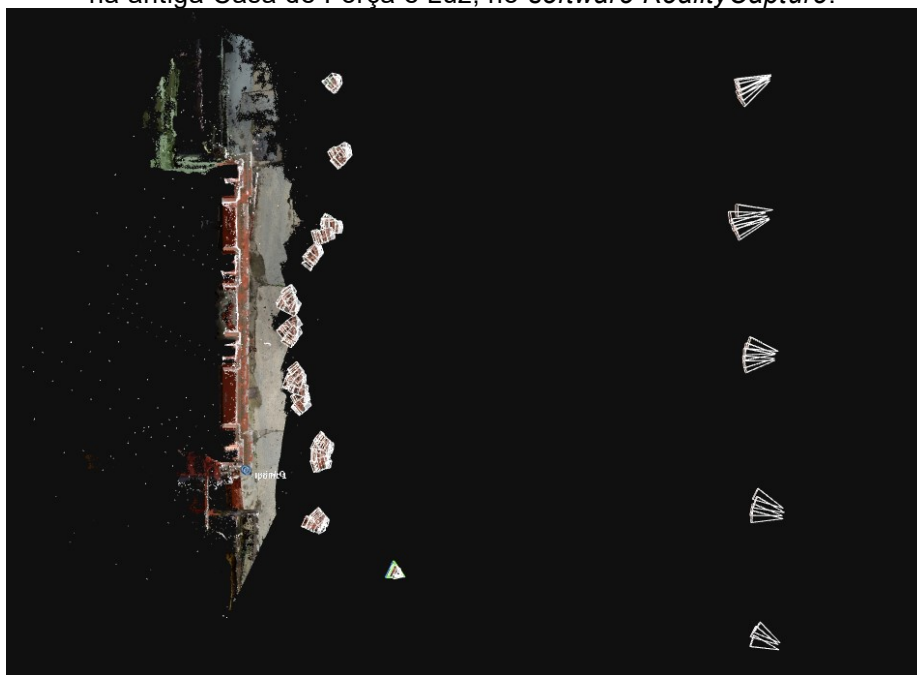


Fonte: autor, 2023.

A fotografia que não foi alinhada foi identificada e considerada irrelevante para a qualidade do modelo, uma vez que se tratava de porção da edificação capturada em diversas outras fotografias, inclusive em melhores condições de angulação e sobreposição com outras fotografias.

Para o modelo da antiga Casa de Força e Luz, o mesmo *workflow* foi executado, inclusive com aproveitamento da topografia do local para tomadas ampliadas (zoom da lente da câmera) de ponto mais distante e alto – como pode ser visto pela Figura 27 e Figura 28.

Figura 27 – Mapa de posicionamento das tomadas fotográficas para restituição fotogramétrica na antiga Casa de Força e Luz, no *software RealityCapture*.



Fonte: autor, 2023.

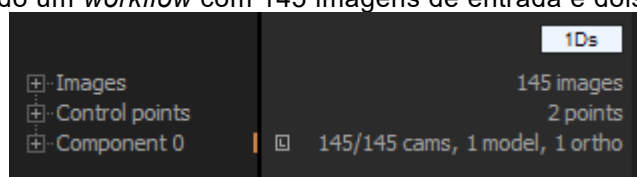
Figura 28 – Nuvem de pontos da restituição fotogramétrica na antiga Casa de Força e Luz, mostrando o posicionamento das tomadas fotográficas, no *software RealityCapture*.



Fonte: autor, 2023.

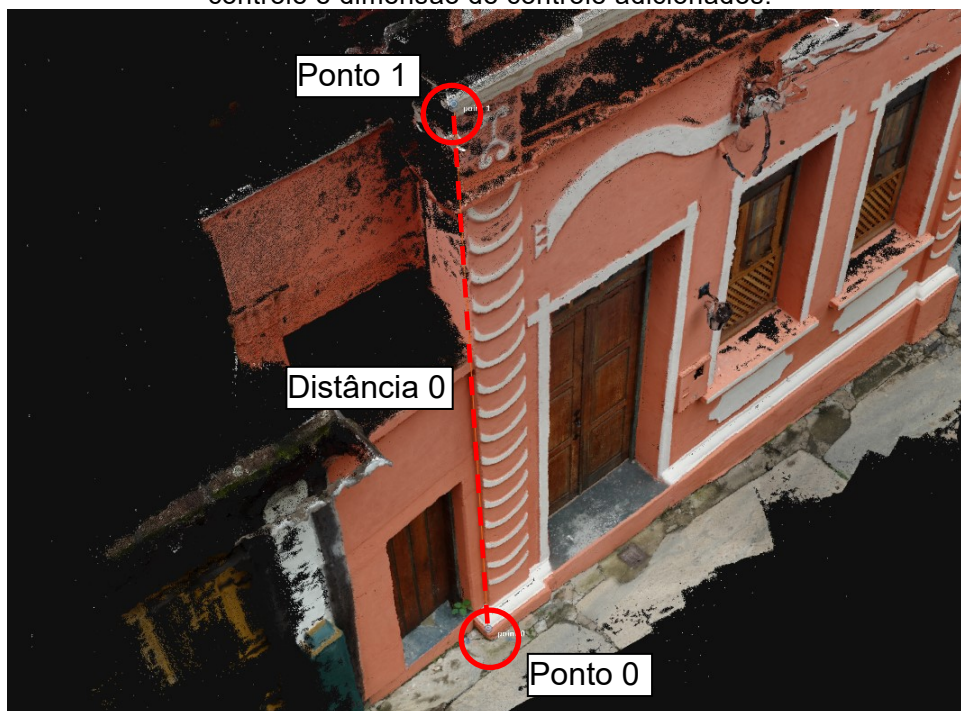
A restituição teve 145 entradas e não necessitou de pontos de controle para alinhamento de todas automaticamente. Dois pontos de controle foram criados apenas para criação de distância de controle, com finalidade de dar a escala correta ao modelo - Figura 29 e Figura 30.

Figura 29 - Painel de controle do *RealityCapture* no arquivo do modelo da antiga Casa de Força e Luz, demonstrando um *workflow* com 145 imagens de entrada e dois pontos de controle.



Fonte: autor, 2023.

Figura 30 – Nuvem de pontos da antiga Casa de Força e Luz demonstrando os dois pontos de controle e dimensão de controle adicionados.



Fonte: autor, 2023.

Posteriormente, os modelos foram gerados e considerados finalizados para exportações em formatos de arquivo adequados para testes de importação em outros *softwares* e análise do tamanho dos arquivos criados.

O *RealityCapture* foi utilizado na modalidade *Pay-Per-Input* (PPI), que permite a utilização do *software* de forma gratuita para o trabalho com as restituições fotogramétricas, onerando o usuário apenas para exportações, considerando as entradas utilizadas. O usuário utiliza de conta de acesso *Epic Games* para efetuar compra de créditos, que serão moeda de troca para as exportações. Assim, cada arquivo tem um preço a ser pago considerando as entradas contidas para liberar exportações ilimitadas.

### 3.1.1.4 ANÁLISE COMPARATIVA

#### 3.1.1.4.1 ACESSO

Para este comparativo, serão considerados alguns dados do *laser scanner* utilizado para o experimento – *Leica RTC-360*. Estes dados podem variar entre equipamentos, entre marcas e fornecedores, mas serão tratados como ponto de partida e referência para uma comparação de acessibilidade (custo e disponibilidade).

Para o acesso a um *laser scanner* é necessário locar ou comprar o equipamento. Cotações feitas em Belo Horizonte - MG, Brasil, e com o valor do dólar atual (R\$5,17 em fevereiro de 2023), foram encontrados os seguintes preços:

- Locação: média de R\$1.625,00 a diária de locação de equipamento e dispositivo com *software* próprio;
- Compra: média de R\$166.900 (USD\$32.300)

O valor exato dentro dos intervalos fornecidos, dependeriam de variáveis de data e características da entrega do produto final. Empresas grandes agregam um maior valor ao custo deste trabalho por possuírem uma circulação maior de trabalhos de maior abrangência, como grandes terrenos, áreas de mineração, e outros levantamentos de grande escala. Portanto trabalhos considerados menores, como edificações ou monumentos artísticos tem baixa viabilidade de execução para estas empresas.

Para a fotogrametria, considerando que a ferramenta de captura utilizada é unicamente uma câmera fotográfica, o acesso ao método se mostra simples e provável. A depender das características físicas do local ou elemento a ser capturado, pode-se necessitar de equipamentos de iluminação adicional ou equipamentos para elevação de posicionamento da captura, como escadas e tripés. Porém estas seriam exceções difíceis de serem quantificadas, e não serão consideradas para o presente comparativo, tal como a utilização de VANT e aerofotogrametria, como já colocado anteriormente.

Câmeras fotográficas possuem uma grande diversidade de formatos físicos, qualidades de lente, de resolução de imagem, modelos e custo dos equipamentos. A qualidade pode variar das câmeras de nossos smartphones ou pequenas



“*cybershots*”, até câmeras profissionais, que trarão um intervalo de precificação complexo de se estimar, uma vez que pequenas câmeras podem ser obtidas por poucas dezenas de reais, e câmeras profissionais bem equipadas não possuem um limite de investimento.

Atualmente, não é incomum que se utilize de smartphones, que estão sempre conosco e possuem, geralmente, ao menos uma câmera, por vezes com qualidade de imagem bem satisfatória do ponto de vista do uso para a fotogrametria. Portanto entende-se que a câmera fotográfica é um equipamento com uma probabilidade de fácil acesso, e que a qualidade do equipamento irá influenciar na qualidade do produto da fotogrametria, porém a utilização de câmeras mais simples não inviabiliza a captura por fotogrametria.

O acesso aos *softwares* para manipulação dos dados obtidos em ambos os métodos possui as mesmas facilidades, bem como o conhecimento para tal, até mesmo pelo fato de que muitos dos *softwares* utilizados podem ser os mesmos, que trabalham tanto com o produto do escaneamento, quanto com as restituições fotogramétricas. São *softwares* específicos para construção e manipulação de nuvens de pontos e modelos texturizados, e geralmente são utilizados por quem trabalha com captura de realidade. Talvez a única diferença neste aspecto seja que, para o escaneamento, depende-se do conhecimento sobre os *softwares* específicos dos fabricantes dos *scanners*, que são utilizados no momento da captura.

Portanto, considerando o acesso aos métodos, a fotogrametria se mostra consideravelmente mais acessível, seja considerando os custos de obtenção de uma câmera fotográfica, ou considerando a variedade de modelos diferentes que cumpririam a função da captura, apenas com um diferencial de qualidade. O escaneamento a *laser* se mostra um método mais oneroso e especializado, tanto pelo acesso ao scanner, quanto por se tratar de um processo muito especializado de manipulação do equipamento e *softwares* de construção do produto final.

#### 3.1.1.4.2 CONHECIMENTO DEMANDADO

Para ambos, escaneamento a *laser* e fotogrametria, necessita-se de conhecimentos aplicados à teoria da captura de realidade. Sobre como funcionam as capturas, como devem ser planejados os posicionamentos e sobreposições de imagem, e condições físicas adequadas. Também para ambos, existe uma demanda de conhecimento sobre manipulação das nuvens de pontos, para que o levantamento cumpra sua finalidade após a criação do produto final.

Para o escaneamento a *laser* especificamente, deve-se conhecer o *hardware*, o equipamento em si, como ele funciona e como deve ser manipulado. Além disso, deve-se entender como funcionam os *softwares* que auxiliam o momento da captura e edições pré-processamento e exportação das nuvens de pontos, que podem variar entre marcas e modelos de *scanner*.

Para a fotogrametria especificamente, deve-se ter um conhecimento básico de fotografia, com finalidade de controlar a qualidade dos arquivos de saída, o planejamento de enquadramento e a exposição de luz. Além disso, conhecimento sobre algum software de restituição fotogramétrica, para a execução de todo o workflow de importação, alinhamento, controle, processamento e limpeza das nuvens de pontos.

De forma geral, percebe-se que o nível de conhecimento demandado é similar, uma vez que se tratam de processos especializados de técnicas digitais para captura de realidade, que conseqüentemente necessitam de algum treinamento de *hardware* e *software* para a execução.

### 3.1.1.4.3 TEMPO DA CAPTURA

Para o escaneamento a *laser*, o tempo de captura depende do equipamento a ser utilizado e da configuração da captura, mas de forma geral, são capturas rápidas, de segundos, ou poucos minutos. Por exemplo, um scanner *Leica RTC-360* captura até 2.000.000 de pontos por segundo, já o scanner *Leica BLK-360* captura até 360.000 pontos por segundo.

Como uma referência de aplicação, para a captura das fachadas da Cadeia Velha e antiga Casa de Força e Luz – objetos de estudo da presente pesquisa, com o equipamento e a configuração utilizada, cada cena levou aproximadamente 2 minutos para captura, somado a aproximadamente 1 minuto para reposicionamento, totalizando aproximados 40 minutos para o levantamento da Cadeia Velha, e 15 minutos para a antiga Casa de Força a Luz. Quando necessário, soma-se também o tempo de correções de alinhamento das posições, que é tarefa simples para os *softwares* dos *scanners*, e frequentemente pode ser executada simultaneamente às capturas no tempo entre os reposicionamentos.

Para a fotogrametria, a dependência maior é da escala do objeto a ser capturado e da complexidade do planejamento das tomadas fotográficas. Espaços menos complexos do ponto de vista de forma vão demandar planejamentos mais simples, e espaços com muitos detalhes, reentrâncias e complexidades geométricas, tomadas mais complexas, com maior número de posicionamentos. A quantidade de fotografias é o que influencia diretamente no tempo do levantamento fotográfico total.

No tempo das tomadas fotográficas, soma-se também o tempo de trabalho no software de restituição fotogramétrica, que depende da qualidade das tomadas fotográficas – que influenciará na necessidade de pontos de controle e gerenciamento de entradas, e da potência computacional – considerando que são softwares que necessitam de qualidade de memória virtual e processamento.

Como uma referência de aplicação, novamente com os objetos de estudo de Conceição do Mato Dentro, o levantamento fotográfico completo e processamento da nuvem de pontos levaram aproximadamente, respectivamente: para a Cadeia Velha: 40 minutos e 1 hora e 20 minutos, totalizando 2 horas; e para a antiga Casa de Força a Luz: 10 minutos e 10 minutos, totalizando 20 minutos. Para a restituição da Cadeia

Velha, além da maior quantidade de entradas, foi necessária a criação de pontos de controle para alinhamento total das fotografias.

Ainda para referência, o computador utilizado para o trabalho possui as seguintes configurações: Processador Intel(R) Core(TM), i7-12700KF, 3.60 GHz, 12ª geração; Memória RAM de 32 GB; Sistema operacional de 64 bits (Windows 11 Pro); Placa de Vídeo NVIDIA GeForce RTX 3060.

Portanto, para o tempo de captura e criação de um produto final, o escaneamento a *laser* é consideravelmente mais eficiente que a fotogrametria, tanto no tempo de captura em si, quanto no processo de preparação dos dados até a obtenção da nuvem de pontos, que no escaneamento é basicamente automático após a captura, e a fotogrametria depende do *workflow* para a restituição fotogramétrica pelo *software*.

#### 3.1.1.4.4 COMPLEXIDADE DO PROCESSO DE CAPTURA

As capturas do laser scanner e da fotogrametria possuem algumas complexidades similares a serem consideradas na execução. A dependência de uma iluminação adequada é uma delas. Quando em ambientes externos, a luz difusa, não diretamente incidente é um ponto definidor de qualidade da captura. No caso do escaneamento a laser a complexidade é minimizada, pois a captura é mais rápida e diminui a probabilidade de uma brusca mudança de luz enquanto o levantamento está sendo executado, evitando o déficit de qualidade no material para texturização.

Outra questão em comum entre os dois métodos é a dificuldade de captura de objetos reflexivos, como vidros, espelhos ou pinturas brilhantes. A construção da nuvem de pontos não interpreta bem tais superfícies e tende a ignorá-las, quando não as consideram como uma repetição da imagem que está sendo refletida.

Para a fotogrametria, existe também uma complexidade com relação a superfícies com padrão ou textura repetitivos – uma grande parede inteira com pintura lisa branca, por exemplo. A reconstituição tende a ignorar esta repetição quando não se consegue capturar óbvias interconexões entre as fotografias e uma boa porcentagem de sobreposição entre elas.

Além disso, existe uma limitação relacionada a distância do objeto de captura, que é uma questão apenas da fotogrametria, uma vez que a fotografia capta uma qualidade de imagem menor em pontos distantes, que influencia na produção da nuvem de pontos, e o *laser scan* possui um longo alcance – no caso do *Leica RTC-360*, até 130 metros. Portanto a fotogrametria necessita de um planejamento que envolve considerar a distância das tomadas fotográficas de cada elemento ou região a ser capturada.

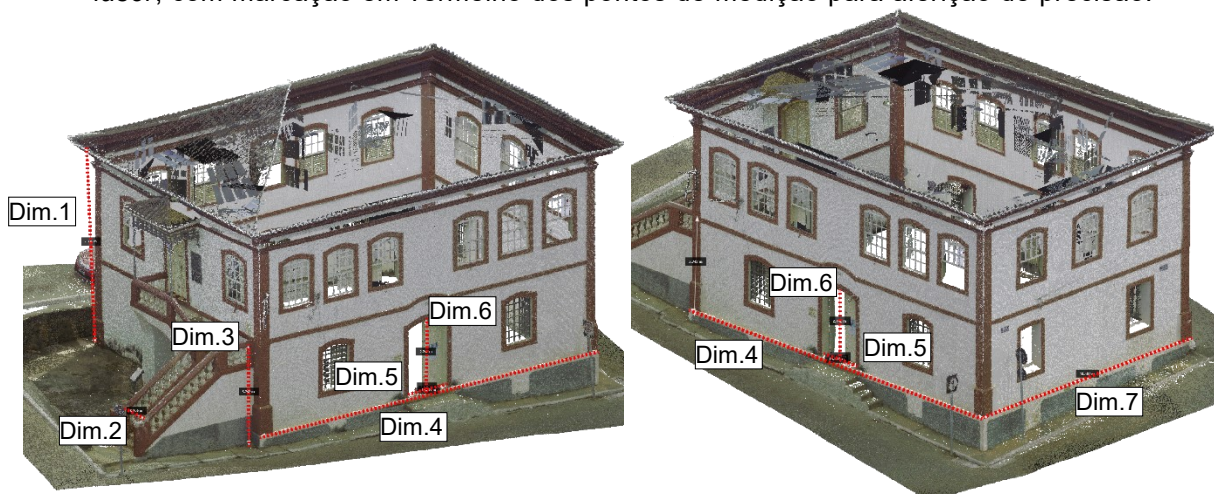
Portanto, a fotogrametria apresenta uma maior complexidade de captura, com mais pontos de preocupação na tomada fotográfica, e também pelo caráter menos automatizado da captura, onde se tem que executar as tomadas manualmente. O escaneamento a laser possui poucos pontos de preocupação, e tem o processo de captura em si completamente automatizado.

### 3.1.1.4.5 QUALIDADE DO PRODUTO

Sobre a qualidade das capturas, o primeiro ponto a ser avaliado é a precisão. Na Cadeia Velha, foram levantadas in-loco e com medição direta analógica (trenas de fita e a laser) 7 dimensões, com a intenção de comparar as dimensões entre os 3 métodos. O método analógico funciona como o referencial para a aferição da precisão das dimensões obtidas pelos modelos digitais.

Como ilustrado da Figura 31 a Figura 39, as dimensões escolhidas são variadas entre larguras, comprimentos e alturas, e também entre distâncias mais curtas e mais longas.

Figura 31 – Perspectivas da nuvem de pontos da Cadeia Velha, oriunda do escaneamento a laser, com marcação em vermelho dos pontos de medição para aferição de precisão.



Fonte: autor, 2023.

Figura 32 – Perspectiva da nuvem de pontos da Cadeia Velha, oriunda do escaneamento a laser, com marcação das dimensões 4, 5 e 6 para aferição de precisão.



Fonte: autor, 2023.

Figura 33 – Perspectiva da nuvem de pontos da Cadeia Velha, oriunda da restituição fotogramétrica, com marcação das dimensões 4, 5 e 6 para aferição de precisão.



Fonte: autor, 2023.

Figura 34 – Perspectiva da nuvem de pontos da Cadeia Velha, oriunda do escaneamento a *laser*, com marcação da dimensão 7 para aferição de precisão.



Fonte: autor, 2023.

Figura 35 - Perspectiva da nuvem de pontos da Cadeia Velha, oriunda da restituição fotogramétrica, com marcação da dimensão 7 para aferição de precisão.



Fonte: autor, 2023.



Figura 36 – Perspectivas da nuvem de pontos da Cadeia Velha, oriunda do escaneamento a *laser*, com marcação das dimensões 1 e 3 para aferição de precisão.



Fonte: autor, 2023.

Figura 37 - Perspectivas da nuvem de pontos da Cadeia Velha, oriunda da restituição fotogramétrica, com marcação das dimensões 1 e 3 para aferição de precisão.



Fonte: autor, 2023.

Figura 38 – Perspectiva da nuvem de pontos da Cadeia Velha, oriunda do escaneamento a *laser*, com marcação da dimensão 2 para aferição de precisão.



Fonte: autor, 2023.

Figura 39 - Perspectiva da nuvem de pontos da Cadeia Velha, oriunda da restituição fotogramétrica, com marcação da dimensão 2 para aferição de precisão.



Fonte: autor, 2023.

A Tabela 1 mostra o comparativo das dimensões e as diferenças de precisão entre os métodos digitais no modelo da Cadeia Velha. As dimensões, em metros, levam em

consideração até a segunda casa decimal, desprezando os milímetros, uma vez que é um nível de precisão difícil de obter com as trenas para um referencial confiável. Portanto, as diferenças de 1cm ou 0,01m demonstradas na tabela devem ser consideradas como 0,01m ou menor.

Tabela 1 - Comparativo de dimensões da Cadeia Velha aferidas manualmente in-loco, em nuvem de pontos oriunda de escaneamento a laser, e em nuvem de pontos oriunda de restituição fotogramétrica.

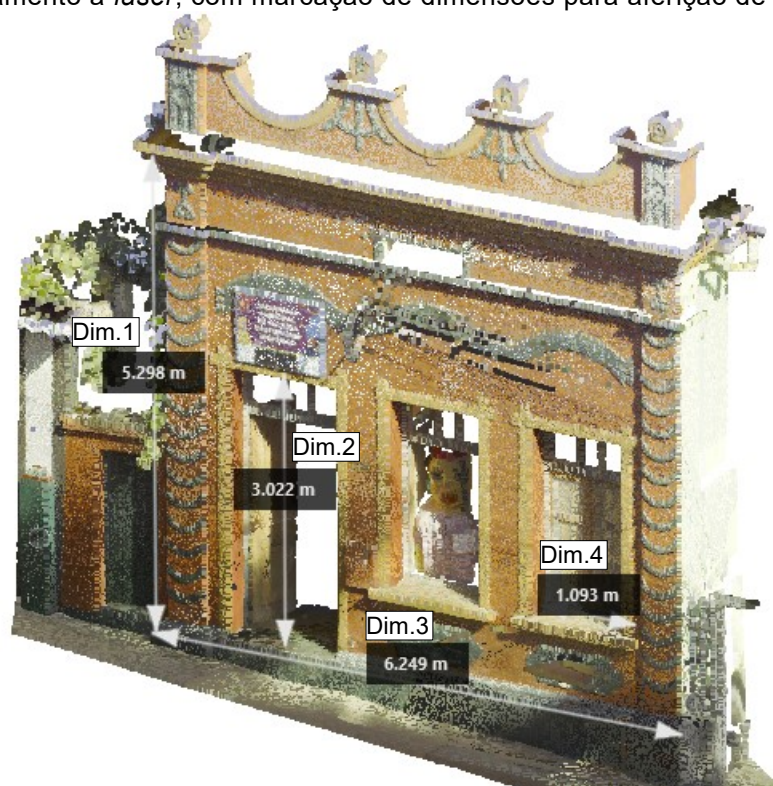
	Manual in-loco (m)	Fotogrametria (m)	Escaneamento a laser (m)	Diferenças (m)	
Dimensão 1	7,33	7,34	7,33	+0,01	0
Dimensão 2	0,93	0,93	0,93	0	0
Dimensão 3	3,74	3,76	3,74	+0,02	0
Dimensão 4	14,31	14,35	14,30	+0,04	-0,01
Dimensão 5	1,63	1,63	1,63	0	0
Dimensão 6	2,74	2,74	2,74	0	0
Dimensão 7	10,31	10,37	10,30	+0,06	-0,01

Fonte: autor, 2023.

A aferição das dimensões do experimento confirma a precisão milimétrica do escaneamento a laser – que variou no máximo em 1cm das dimensões de referência, e define também uma referência de precisão para a fotogrametria - que variou em média 1,85cm. As variações podem representar uma disformidade na escala ou restituição de forma do modelo completo, mas também pode representar uma disformidade pontual, uma vez que as cotas dos modelos são aferidas de ponto a ponto. Portanto, se uma região menor possui uma disformidade, pode provocar uma única dimensão alterada sem significar que todo o modelo possui uma falha dimensional ou de escala. Por isso, a referência de precisão entendida no presente comparativo considera a média de variação de 1,85cm, e não o fato de algumas medidas possuírem variações maiores.

O mesmo fluxo comparativo foi executado na antiga Casa de Força a Luz, como ilustrado pela Figura 40 e Figura 41, com 4 dimensões de referência.

Figura 40 - Perspectiva da nuvem de pontos da antiga Casa de Força e Luz, oriunda do escaneamento a *laser*, com marcação de dimensões para aferição de precisão.



Fonte: autor, 2023.

Figura 41 - Perspectiva da nuvem de pontos da antiga Casa de Força e Luz, oriunda da restituição fotogramétrica, com marcação de dimensões para aferição de precisão.



Fonte: autor, 2023.

A Tabela 2 mostra o comparativo das dimensões e as diferenças de precisão entre os métodos digitais no modelo da antiga Casa de Força e Luz. Este segundo caso também confirma a precisão do escaneamento a laser, que não apresentou diferenças em relação às medidas de referência. Para a fotogrametria, a diferença foi de 1cm máximo, mostrando também um alto grau de precisão para o experimento.

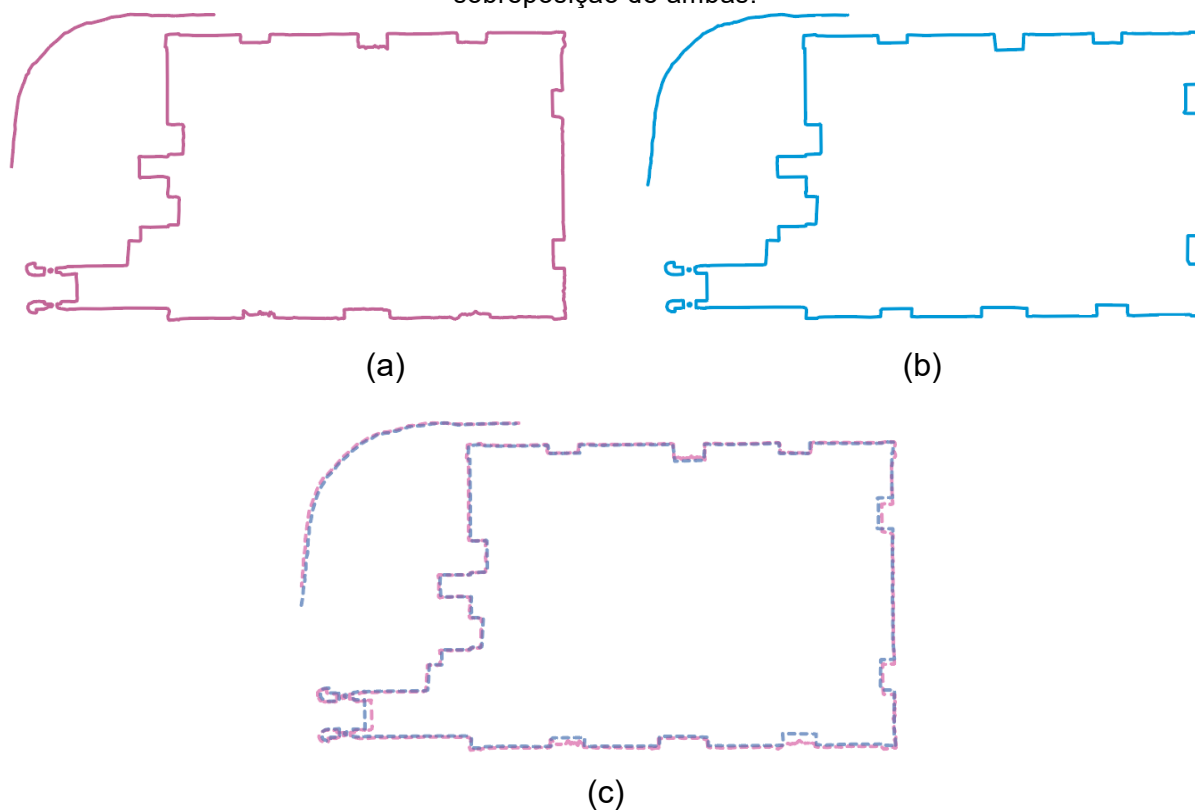
Tabela 2 - Comparativo de dimensões da antiga Casa de Força e Luz aferidas manualmente in-loco, em nuvem de pontos oriunda de escaneamento a laser, e em nuvem de pontos oriunda de restituição fotogramétrica.

	Manual in-loco (m)	Fotogrametria (m)	Escaneamento a laser (m)	Diferenças (m)	
Dimensão 1	5,30	5,29	5,30	-0,01	0
Dimensão 2	3,02	3,01	3,02	-0,01	0
Dimensão 3	6,24	6,23	6,24	-0,01	0
Dimensão 4	1,09	1,09	1,09	0	0

Fonte: autor, 2023.

Ainda para avaliação da precisão, foram desenhados os perímetros das edificações, como planta simplificada, a fim de comparar os desenhos obtidos por ambos os métodos digitais. A Figura 42 ilustra os perímetros e uma sobreposição dos dois desenhos, explicitando grande similaridade entre ambos de forma gráfica, além da demonstração numérica das tabelas anteriores.

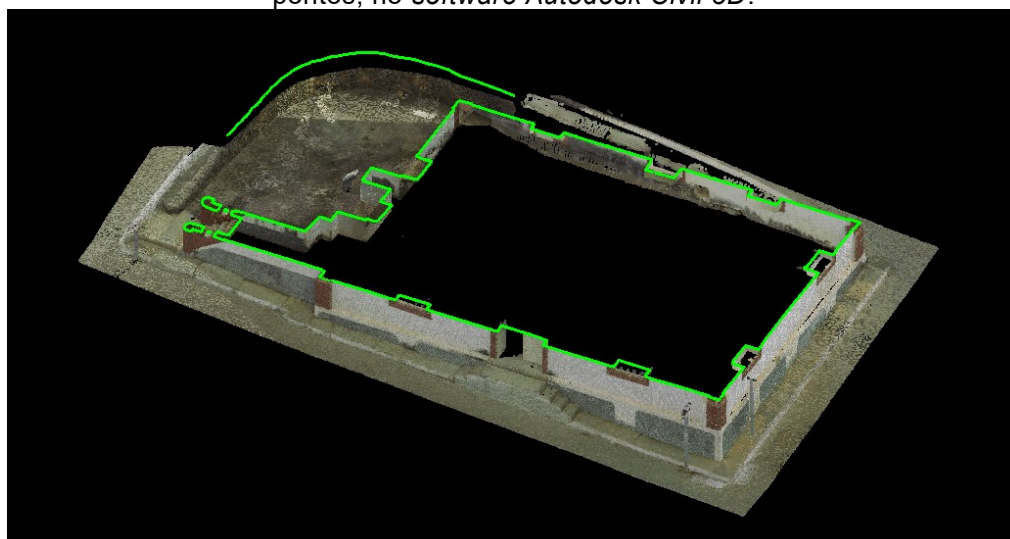
Figura 42 – Ilustrações dos desenhos dos perímetros da Cadeia Velha, feitas a partir das nuvens de pontos oriundas de: (a) restituição fotogramétrica, (b) escaneamento a laser, e (c) sobreposição de ambas.



Fonte: autor, 2023.

Os desenhos foram executados no *software Autodesk Civil 3D*, como ilustrado na Figura 43.

Figura 43 – Ilustração do processo de desenho de linhas a partir de seções na nuvem de pontos, no *software Autodesk Civil 3D*.



Fonte: autor, 2023.

Como já explicitado no item de Complexidade do processo de captura, existe na fotogrametria uma dependência de um limite de distância para a tomada de fotografias que influenciam na qualidade da nuvem de pontos. Como pode ser visto nas Figura 44, Figura 45 e Figura 46, nos experimentos da presente pesquisa, por exemplo, as porções superiores das edificações foram reconstituídas com menor qualidade e densidade do que as porções inferiores – próximas ao ponto de captura, na altura do observador. Em uma situação ideal para uma reconstituição de maior qualidade, seria interessante a utilização de aerofotogrametria junto às tomadas fotográficas terrestres.

Figura 44 – Perspectivas das nuvens de pontos da Cadeia Velha, oriundas de: (a) restituição fotogramétrica, e (b) escaneamento a laser.



Fonte: autor, 2023.

Figura 45 – Elevações de fachada das nuvens de pontos da Cadeia Velha, oriundas de: (a) restituição fotogramétrica, e (b) escaneamento a laser.



Fonte: autor, 2023.

Figura 46 - Elevações de fachada das nuvens de pontos da antiga Casa de Força e Luz, oriundas de: (a) restituição fotogramétrica, e (b) escaneamento a laser.

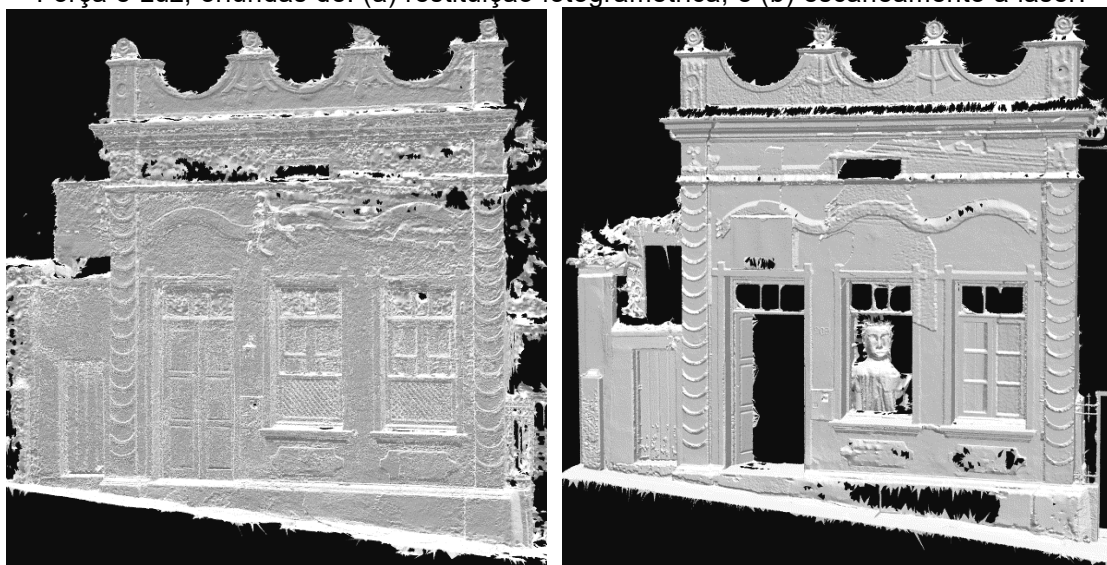


Fonte: autor, 2023.

Também, outra diferença é notada quando se cria a malha triangular irregular a partir da nuvem de pontos, e visualiza-se como não texturizada. Como mostram as Figura 47 e Figura 48, existe uma diferença de formação das superfícies nos métodos, onde no produto da fotogrametria, as superfícies podem se apresentar com uma certa disformidade na textura, com uma espécie de serrilhamento, enquanto no escaneamento a superfície se apresenta com similaridade à textura da superfície realidade. Tal fator pode ter alguma influência em capturas com finalidade de registro de elementos menores e com maior detalhamento de textura ou forma.



Figura 47 – Perspectivas de fachada das malhas triangulares irregulares da antiga Casa de Força e Luz, oriundas de: (a) restituição fotogramétrica, e (b) escaneamento a laser.



(a)

(b)

Fonte: autor, 2023.

Figura 48 - Perspectivas ampliadas de fachada das malhas triangulares irregulares da antiga Casa de Força e Luz, oriundas de: (a) restituição fotogramétrica, e (b) escaneamento a laser.



(a)

(b)

Fonte: autor, 2023.

Um fator a ser levado também em consideração, principalmente atentando à gestão arquivística do processo, é o tamanho dos arquivos gerados por cada método de captura.

Como valores de referência para uma compreensão geral sobre estes arquivos, coloca-se os do presente experimento, ilustrados no Quadro 2. Os valores mostram que os arquivos gerados pelo escaneamento a laser são consideravelmente maiores. Outra elucidação feita pelos números tabelados é que os arquivos que contém somente a nuvem de pontos (formato **.LAS**, no caso) é consideravelmente menor do que os arquivos abertos que contém todas as informações de captura de ambos os levantamentos (**.RCPROJ** e **.e57**, no caso).

Quadro 2 - Tamanhos dos arquivos obtidos nos processos de escaneamento a laser e restituição fotogramétrica dos objetos de estudo.

Método	Formato de arquivo	Cadeia Velha	Antiga Casa de Força e Luz
Fotogrametria	<b>.RCPROJ</b> (RealityCapture Project file)	3.830 MB	970 MB
	Versão em arquivo <b>.LAS</b>	528 MB	181 MB
Escaneamento a laser	<b>.e57</b>	8.950 MB	3.020 MB
	Versão em arquivo <b>.LAS</b>	1.350 MB	198 MB

Fonte: autor, 2023.

Como última observação do tópico, ilustra-se na Figura 49, algo já supracitado no presente trabalho, que são as condições de luz no momento das capturas. No momento da tomada fotográfica para restituição fotogramétrica, a luz estava difusa, como resultado de um dia ensolarado, porém nublado. Já no momento da varredura pelo *laser scanner*, a luz se encontrava com incidência direta no objeto a ser capturado, gerando influência na textura capturada, e apresentando tal sombreamento na nuvem de pontos. Tal fator pode ser diferencial de qualidade do produto para finalidades onde a texturização do modelo e a aparência da edificação pode ser uma variável, como por exemplo um mapeamento de danos.

Figura 49 - Perspectivas ampliadas de fachada das nuvens de pontos da antiga Casa de Força e Luz, oriundas de: (a) restituição fotogramétrica, e (b) escaneamento a laser, com marcação em vermelho de região onde a luz direta provocou sombra no momento da captura.



(a)

(b)

Fonte: autor, 2023.

#### 3.1.1.4.6 NÍVEL DE CONTROLE DA QUALIDADE DO PRODUTO

Na fotogrametria, a qualidade do produto pode ser controlada em alguns pontos:

- Planejamento e execução das tomadas fotográficas, que podem variar em quantidade de fotos, angulação, posicionamento e sobreposição entre fotografias;
- Qualidade das fotografias: condições de iluminação, nitidez da imagem e qualidade do equipamento;
- Conhecimento de manipulação de software e seu *workflow*, para alinhamento, criação de pontos e distâncias de controle, além de ferramentas de limpeza e exportação de arquivos.

No escaneamento a laser, as variáveis de controle de qualidade são:

- Escolha e configuração do scanner;
- Posicionamento das estações;
- Ajustes manuais de sobreposição de varreduras, quando necessários;
- Conhecimento de manipulação de software e seu *workflow*, para pós-processamento e criação de registro.

A fotogrametria possui maior quantidade de pontos variáveis para definição da qualidade final do produto, por contar com muitas etapas de processo que dependem de uma execução correta e que possuem alta influência na qualidade final do produto. O escaneamento a laser conta com maioria de processos automatizados e que influenciam pouco no resultado final.

Contudo, softwares como o RealityCapture apresentam ferramentas para a união das entradas de ambos os métodos para um produto de maior qualidade, e que cumpra todas as condições necessárias para um levantamento completo.

### **3.1.2 COMPARATIVO ENTRE FOTOGRAMETRIA E LIDAR PORTÁTIL**

#### **3.1.2.1 OBJETO DE ESTUDO**

Para este comparativo, o objeto de estudo foi o casarão do Espaço Comum Luiz Estrela (ECLE) – antigo Hospital Militar, localizado na Rua Manaus, nº348, em Belo Horizonte - MG.

Seu uso inicial como Hospital Militar foi inaugurado em 1914, e após 33 anos de atividades, foi transferido para outra edificação de maior porte. A edificação passa então a abrigar o Hospital de Neuropsiquiatria Infantil (HNPI), juntamente com o Instituto de Psicopedagogia. Em 1980, o HNPI fechou as suas portas. Na edificação passa a funcionar o Centro Psicopedagógico (CPP), em uma fusão com o HNPI, com atendimentos e internações de crianças com déficit de aprendizagem. No ano de 1990, as crianças internas do CPP são transferidas para o Centro Psíquico da Adolescência e Infância (CEPAI), localizado no mesmo quarteirão da edificação. Posteriormente, passa a abrigar a Escola Estadual Yolanda Martins, também para crianças portadoras de distúrbios mentais e com déficits de aprendizagem.

Em 1994, a edificação é tombada a nível municipal pela atual Diretoria de Patrimônio Cultural e Arquivo Público (DPCA) e passa a fazer parte do Conjunto Urbano da Praça Floriano Peixoto e Adjacências de Belo Horizonte, tendo como principal diretriz de tombamento, a preservação da fachada e volumes da edificação. Um ano depois, após vistoria do Corpo de Bombeiros, sua estrutura foi condenada e a edificação interditada, iniciando assim o processo de abandono, entre 1995 a 2013.

Na madrugada do dia 26 de outubro de 2013, um grupo de artistas, ativistas e educadores, viram nessa edificação a possibilidade de se criar um espaço autogestionável que abrigasse diversas atividades culturais, um espaço comum a todos, gerido por pessoas que acreditam que o patrimônio quando abandonado pelo poder público deve ser ocupado pelos cidadãos comuns.

Após a ocupação desse espaço, foi requisitada sua concessão por parte da sociedade civil, que passou a chamá-lo de Espaço Comum Luiz Estrela. O nome escolhido presta homenagem ao artista de rua e ativista Luiz Estrela, encontrado morto em 2013 após manifestações populares ocorridas na cidade de Belo Horizonte causadas pela insatisfação com a política vigente no Brasil. A posse oficial do espaço por parte dos

ocupantes foi legitimada, após longo embate com o poder público estadual, contando com o acompanhamento intermediação do Ministério Público Estadual (MPE), com a publicação do termo de seção de uso do imóvel, pelo período de 20 anos, no fim de 2013, com a contrapartida de restaurar a edificação.

Assim, o processo de restauração da edificação foi iniciado pelo Núcleo de Memória e Restauração do que elaborou o projeto arquitetônico que foi em agosto de 2015 pelo município. As principais premissas que nortearam o projeto foram: a manutenção das camadas históricas e estéticas, incluindo rastros de abandono e manutenção do que foi arruinado; mínima intervenção, porém, garantindo a estabilização da estrutura, danos e patologias, sem que os rastros fossem apagados; conformação de espaços que pudessem abrigar uma mutabilidade constante de coletivos e usos; e realização de intervenções executadas pelos próprios coletivos, também aberta à comunidade civil em geral.

O objeto de estudo escolhido possui grande importância na relação da cidade com seu patrimônio. Além de ser bem edificado tombado por acatamento municipal, é um museu de território reconhecido pelo Instituto Brasileiro de Museus (IBRAM), e sítio arqueológico de Belo Horizonte reconhecido pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN).

A edificação possui 2 pavimentos, apresenta estilo eclético, e hoje, também as marcas do tempo, dos usos e do abandono. Sua fachada é horizontalmente simétrica, com elementos de formas geométricas simples, grandes vãos de portas e janelas e pináculo central.

Figura 50 - Fotografia da fachada frontal da edificação na época em que foi construído, com o uso de Hospital Militar.



Fonte: acervo CEPAI-FHEMIG, sem data.

Figura 51 - Fachada frontal da edificação.



Fonte: autor, 2021.

Figura 52 - Aerofotografia do imóvel, que contém a porção coberta pelo telhado cerâmico à direita da fotografia e seu centro, a porção coberta pelo telhado de amianto mais à esquerda da fotografia, e o pátio descoberto mostrada na parte superior da fotografia.

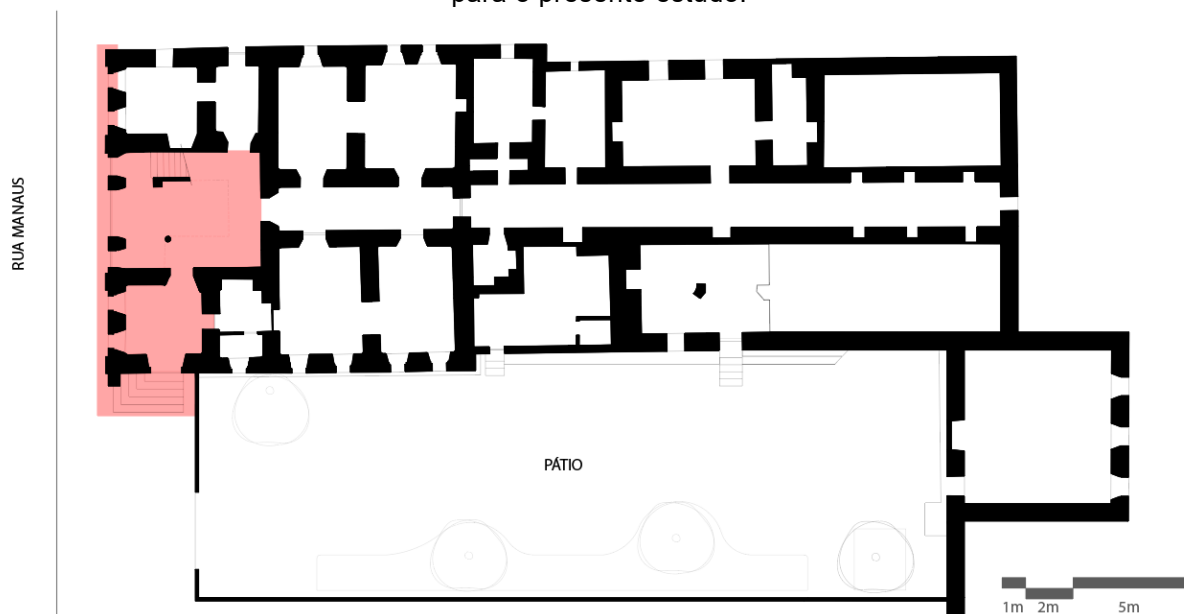


Fonte: autor, 2021.

No presente estudo, considerando o tamanho e complexidade da edificação como um todo, foi avaliada e escolhida porção da edificação para o experimento, que cumprisse diferentes situações necessárias para os testes. A porção escolhida foi o volume frontal da edificação, abarcando, no 1º pavimento, o hall lateral e o hall central; no 2º pavimento, o hall central (pé-direito duplo) e os 4 ambientes laterais a ele; e a fachada frontal – como indicado nas plantas esquemáticas das Figura 53 e Figura 54. Desta forma, o levantamento perpassou por situações diversas de iluminação, altura, amplitude do ambiente, complexidade de formas, além da conexão entre ambientes internos e fachada no mesmo modelo.

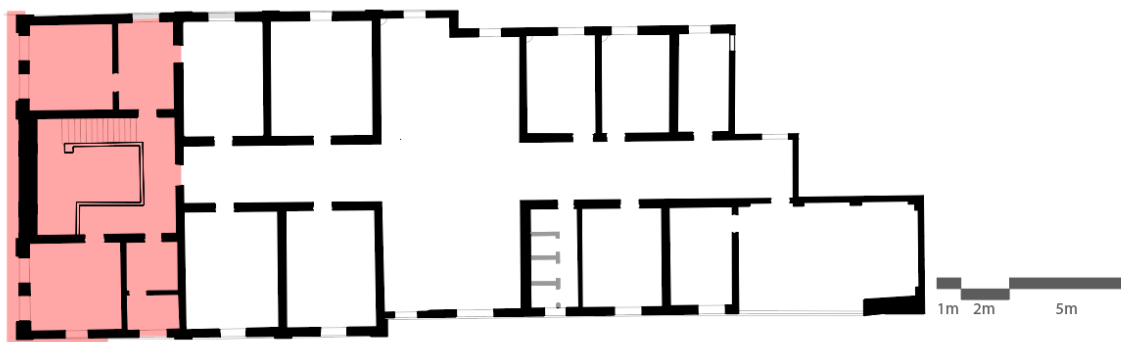


Figura 53 – Planta esquemática do 1º pavimento com marcação em rosa da porção utilizada para o presente estudo.



Fonte: autor, 2022.

Figura 54 - Planta esquemática do 2º pavimento com marcação em rosa da porção utilizada para o presente estudo.



Fonte: autor, 2022.

Figura 55 - Fachada frontal e hall central da edificação.



Fonte: autor, 2021.

Figura 56 – Vistas (opostas) do hall central da edificação.



Fonte: autor, 2021.

### 3.1.2.2 LIDAR PORTÁTIL

O levantamento foi executado em 19 de janeiro de 2023 com um *smartphone Apple Iphone 13 Pro Max*. O dispositivo possui, além de câmeras de 12Mp, o sensor *Lidar*, que escaneia com alcance máximo de captura de 5m e depende de *software* aplicativo para configurar, registrar e exportar o levantamento.

Alguns aplicativos disponíveis para o iOS (sistema operacional do *Iphone 13 Pro Max*), prometem executar escaneamentos, mas fazem isto utilizando o método de fotogrametria, ou uma captura onde ambos os métodos (fotogrametria e *Lidar*) são complementares, e não exclusivamente o sensor *Lidar* – como o *Reality Scan* e o *Polycam*.

Nos comparativos de Vacca (2023) e Teppati Losè (2022), nota-se uma clara diferença positiva de qualidade da captura quando os aplicativos utilizam do modo de processamento que tem como base a fotogrametria, independente do aplicativo utilizado.

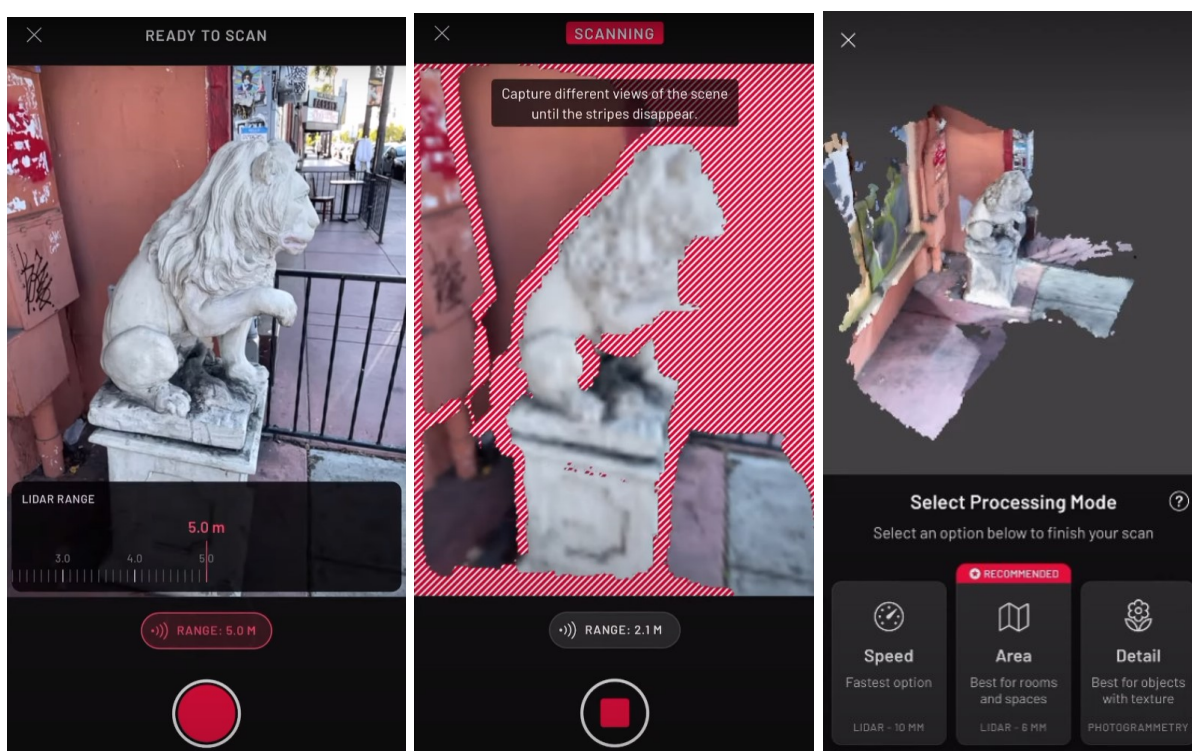
Considerando que a intenção do presente experimento é testar especificamente a captura com o sensor *Lidar*, o aplicativo utilizado foi o *Scaniverse*, que promete utilizar exclusivamente do sensor.

Como ilustrado na Figura 57, o *workflow* do aplicativo *Scaniverse* consiste em:

- Definição do alcance, com limite de 5 metros;
- Início da captura;
- Escaneamento que consiste em movimentar o dispositivo para captura de todas as áreas a serem capturadas. A tela apresenta uma hachura listrada branca e vermelha nos pontos ainda não capturados e o objetivo é capturar todas as cenas, fazendo as hachuras desaparecerem. Conforme orientação do próprio tutorial de uso do aplicativo, o movimento deve ser suave, para evitar desalinhamentos entre as áreas;
- Escolha do modo de processamento, entre: *Speed – Lidar 10mm*, que prezarà pela velocidade do processamento sobre a qualidade; *Area – Lidar 6mm*, que funciona melhor para ambientes, prédios e ambientes abertos; ou *Detail – Photogrametry*, que funciona melhor para pessoas, objetos e elementos com textura complexa;

- Processamento da captura;
- Edições, se necessário e intencional, com ferramentas para cortar, rotacionar, aplicar filtros e tratar a textura;
- Exportação do modelo, com opções de envio por mensagem instantânea, publicação no *Sketchfab* (site de hospedagem de modelos 3D), ou exportar modelo;
- No caso de exportação do modelo, escolha do formato de arquivo entre: .FBX, .OBJ, .GLB, .USDZ, .STL, .PLY, e .LAS.

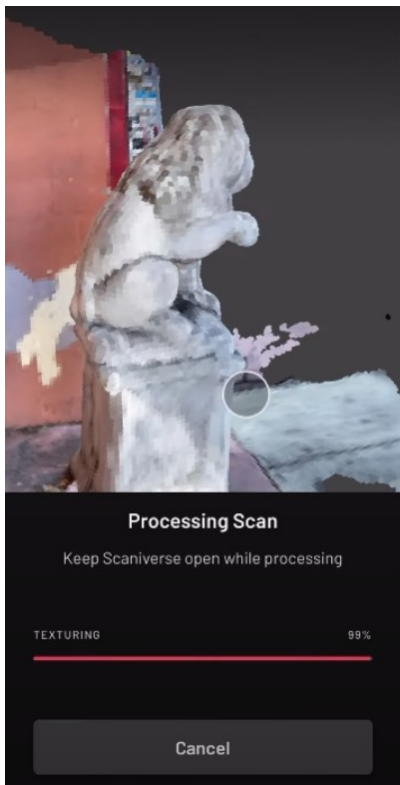
Figura 57 – *Workflow* do aplicativo Scaniverse. (a) Tela de definição do alcance; (b) Tela de escaneamento; (c) Tela de definição do modo de processamento; (d) Tela de processamento em andamento; (e) Tela do processamento completo; (f) Tela de edição pós processamento; (g) Tela de corte e rotação; (h) Tela de compartilhamento; (i) Tela de exportação.



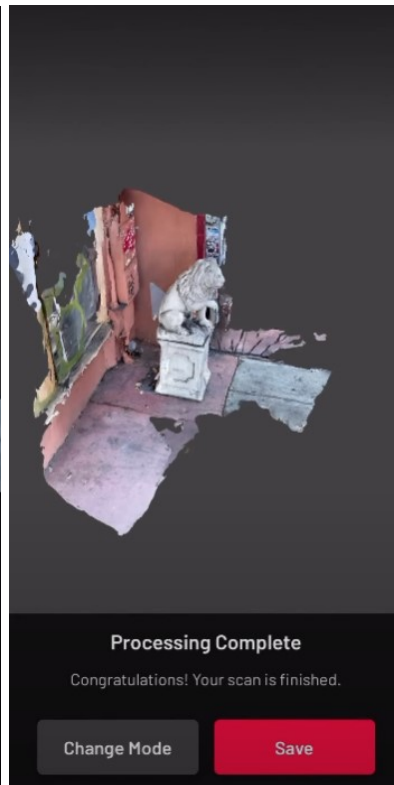
(a)

(b)

(c)



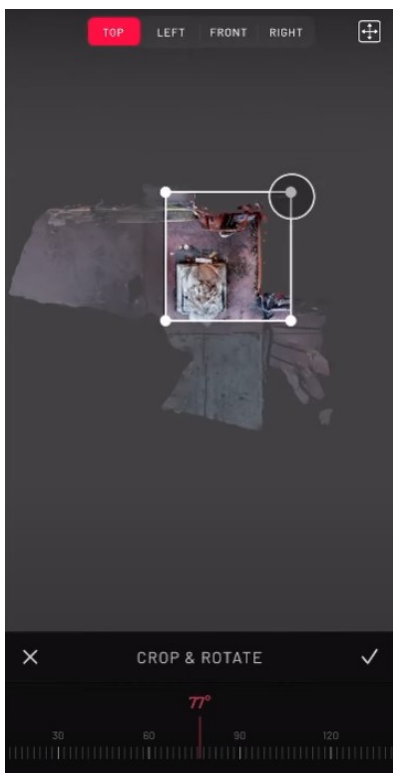
(d)



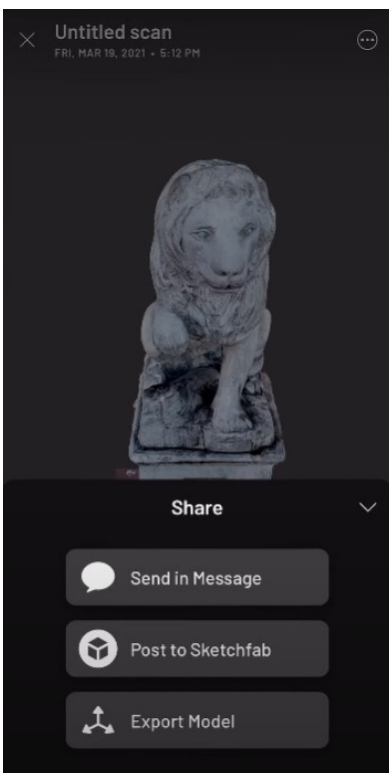
(e)



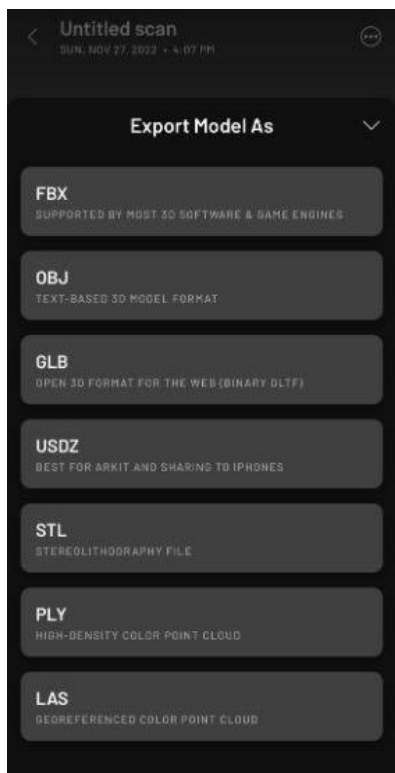
(f)



(g)



(h)



(i)

Para o presente experimento, o levantamento foi configurado com o limite de alcance máximo de 5m, para melhor aproveitamento do sensor, uma vez que se tratam de ambientes amplos e espaço aberto (fachada).

Conforme as orientações do tutorial de uso do aplicativo<sup>8</sup>, a captura foi executada com movimentos lentos e suaves, buscando cobrir todas as hachuras na tela e escanear todas as áreas do espaço. Uma das aberturas de porta frontal foi aberta para permitir o levantamento das áreas internas e da fachada em um só fluxo de captura.

Considerando que o hall central possui pé-direito duplo de aproximadamente 7,4m até as tesouras do telhado e 9,25m até a cumeeira, e as salas laterais também apresentam pé-direito alto, foi feito uso de um prolongador de 2m, que somado ao comprimento do braço esticado, aumentou o limite da captura para pelo menos 7,5m de distância. A desvantagem do uso do prolongador é que se perde a visualização da tela do *smartphone*, que seria um guia eficiente para saber as regiões ainda não capturadas. Desta forma, enquanto usando o prolongador, a captura foi feita por noção espacial básicas e movimentos lentos e abrangentes.

O aplicativo possui as funções de pausar e retomar a tomada de registro, que foi utilizada nos momentos de acoplar o *smartphone* ao prolongador. No momento de pausa do registro, o *Scaniverse* também proporciona uma versão rudimentar da nuvem de pontos capturada até o momento para melhor espacialização das regiões com trechos não escaneados.

Após concluída a captura, o processamento foi iniciado no modo *Area – Lidar 6mm*, conforme orientado para melhor resultado da situação em questão. O processamento levou aproximadamente 10 minutos para ser concluído, e nenhuma edição foi feita no modelo resultado antes da exportação.

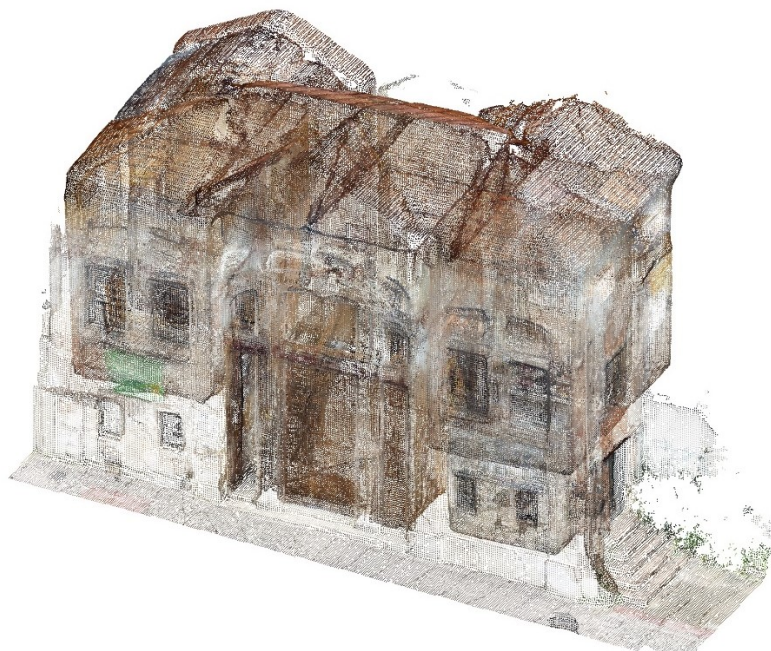
A exportação foi feita em formato de arquivo .LAS, considerando que é um formato de nuvem de pontos, que permite importação para os principais *softwares* de manipulação de nuvem de pontos, como *Autodesk Recap*, *Agisoft Metashape*,

---

<sup>8</sup> Vídeo tutorial do *Scaniverse* hospedado no *Youtube*, “*How to Capture & Share in 3D with Scaniverse!*”: <https://www.youtube.com/watch?v=ELXLFMjLOx8>. Acesso em 10/02/2023.

*RealityCapture* e *CloudCompare*. As imagens da Figura 58 a Figura 62 demonstram o resultado da nuvem de pontos registradas pelo *Autodesk Recap*.

Figura 58 – Perspectiva isométrica da nuvem de pontos capturada pelo aplicativo *Scaniverse*, no software *Autodesk Recap*.



Fonte: autor, 2023.

Figura 59 - Perspectiva da nuvem de pontos capturada pelo aplicativo *Scaniverse*, no software *Autodesk Recap*.



Fonte: autor, 2023.

Figura 60 - Perspectiva isométrica da nuvem de pontos capturada pelo aplicativo *Scaniverse*, com seção horizontal no 1º pavimento, no *software Autodesk Recap*.



Fonte: autor, 2023.

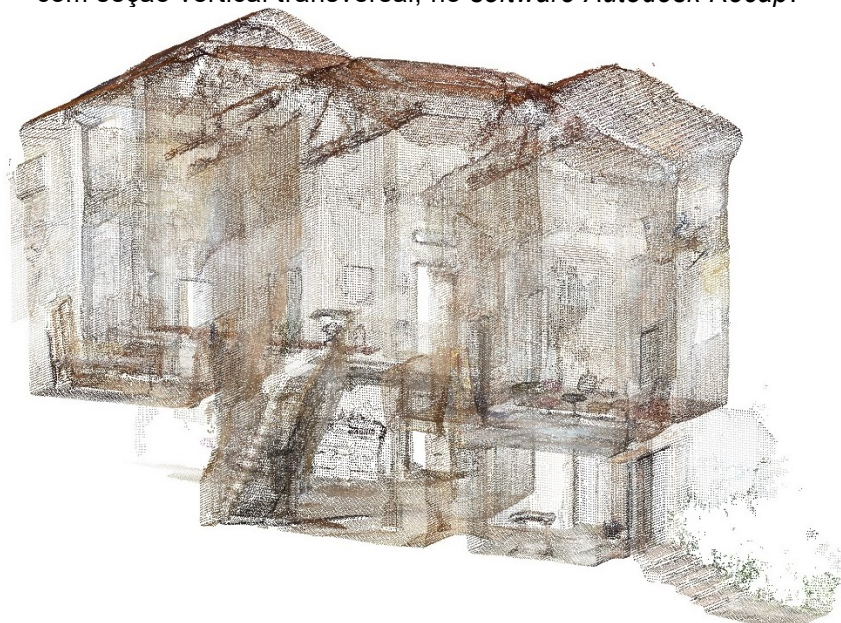
Figura 61 - Perspectiva isométrica da nuvem de pontos capturada pelo aplicativo *Scaniverse*, com seção horizontal no 2º pavimento, no *software Autodesk Recap*.



Fonte: autor, 2023.



Figura 62 - Perspectiva isométrica da nuvem de pontos capturada pelo aplicativo *Scaniverse*, com seção vertical transversal, no *software Autodesk Recap*.



Fonte: autor, 2023.

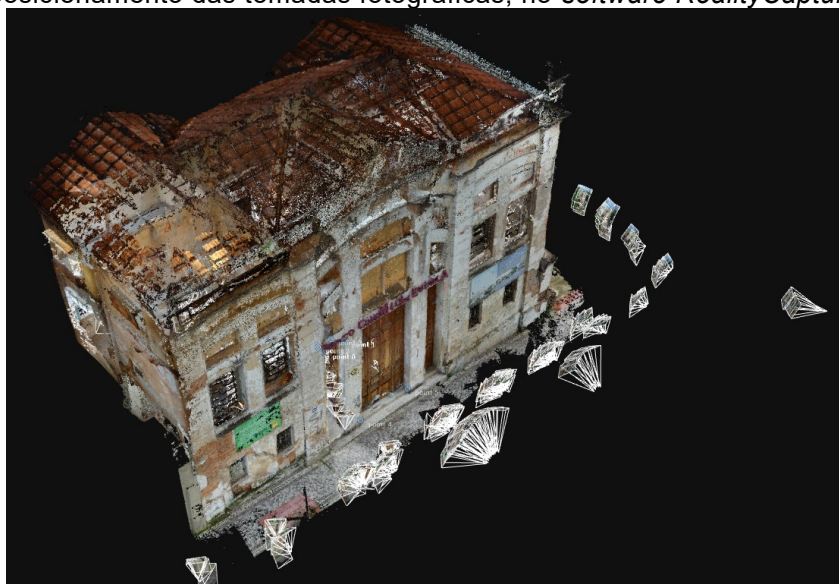
Após a exportação, foi constatado que o modelo não possuía a escala correta, portanto para a definição de escala correta, o arquivo foi importado no *software CloudCompare*, que possui ferramentas mais livres de edição da nuvem no espaço de trabalho, onde foi definida a escala baseada em dimensão de referência. Quando com escala correta, foi novamente exportado em formato .LAS.

### 3.1.2.3 FOTOGRAMETRIA

O levantamento fotográfico do Espaço Comum Luiz Estrela com finalidade de restituição fotogramétrica utilizou do mesmo equipamento, workflow e procedimentos das tomadas fotográficas dos objetos de estudo já descritas. Também as mesmas preocupações com relação à iluminação e posicionamento das tomadas fotográficas.

Tal como na captura com o *Lidar* portátil, uma das aberturas de porta frontal foi aberta para permitir o levantamento das áreas internas e da fachada em um só fluxo de captura. As Figura 63 e Figura 64 ilustram a nuvem de pontos obtida com o posicionamento das tomadas fotográficas.

Figura 63 - Nuvem de pontos da restituição fotogramétrica do ECLE, mostrando o posicionamento das tomadas fotográficas, no *software RealityCapture*.



Fonte: autor, 2023.

Figura 64 - Nuvem de pontos da restituição fotogramétrica do ECLE, mostrando o posicionamento das tomadas fotográficas, no *software RealityCapture*.

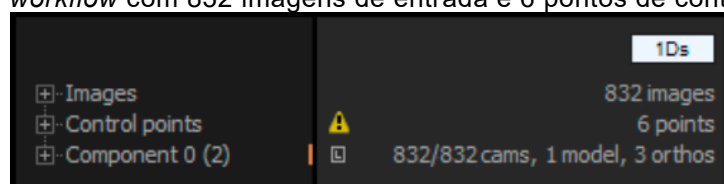


Fonte: autor, 2023.

A restituição teve 832 entradas e necessitou de 4 pontos de controle para o alinhamento completo de todas as fotografias - Figura 65 e Figura 66. Dois pontos de controle foram criados apenas para criação de distância de controle, com finalidade de dar a escala correta ao modelo – Figura 67.

Os pontos de controle foram necessários para o alinhamento pois o alinhamento automático considerou os ambientes internos e a fachada como componentes separados. Portanto, com 4 pontos de alinhamento no vão de porta entre o hall central e a fachada (Figura 66), foi possível indicá-los em uma grande quantidade de entradas (42 fotografias no total) e realinhar o modelo, que identificou as sobreposições indicadas e criou o modelo completo com as 832 entradas.

Figura 65 - Painel de controle do *RealityCapture* no arquivo do modelo do ECLE, demonstrando um *workflow* com 832 imagens de entrada e 6 pontos de controle.



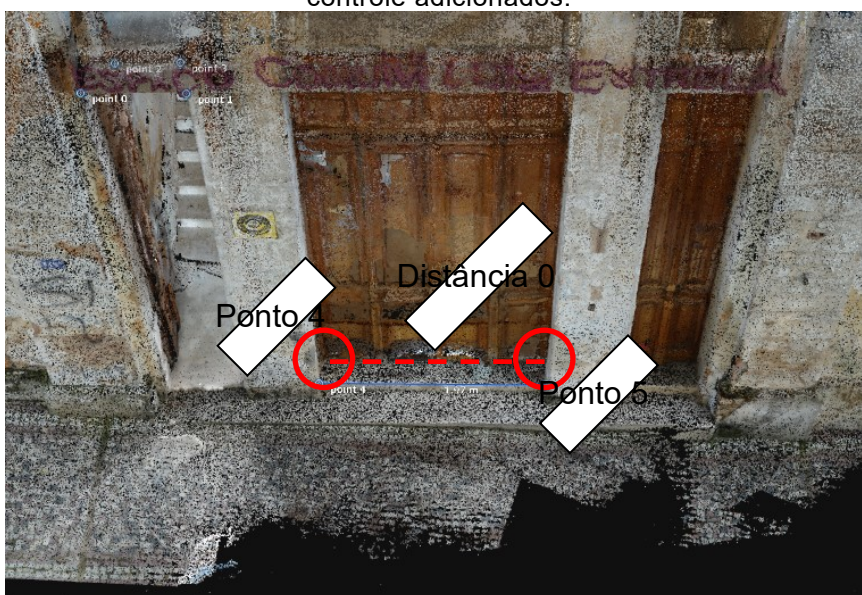
Fonte: autor, 2023.

Figura 66 - Nuvem de pontos do ECLE demonstrando 4 pontos de controle adicionados.



Fonte: autor, 2023.

Figura 67 - Nuvem de pontos do ECLE demonstrando 2 pontos de controle e dimensão de controle adicionados.



Fonte: autor, 2023.

As Figuras 68 a 72 demonstram o resultado da nuvem de pontos registradas pelo *Autodesk Recap*. Para a reconstituição e exportação o *RealityCapture* também foi utilizado na modalidade PPI (*Pay-Per-Input*).

Figura 68 - Perspectiva isométrica da nuvem de pontos obtida por restituição fotogramétrica, no software Autodesk Recap.



Fonte: autor, 2023.

Figura 69 - Perspectiva da nuvem de pontos obtida por restituição fotogramétrica, no software Autodesk Recap.



Fonte: autor, 2023.

Figura 70 - Perspectiva isométrica da nuvem de pontos obtida por restituição fotogramétrica, com seção horizontal no 1º pavimento, no *software Autodesk Recap*.



Fonte: autor, 2023.

Figura 71 – Perspectiva isométrica da nuvem de pontos obtida por restituição fotogramétrica, com seção horizontal no 2º pavimento, no *software Autodesk Recap*.



Fonte: autor, 2023.

Figura 72 - Perspectiva isométrica da nuvem de pontos obtida por restituição fotogramétrica, com seção vertical transversal, no *software Autodesk Recap*.



Fonte: autor, 2023.

### 3.1.2.4 ANÁLISE COMPARATIVA

#### 3.1.2.4.1 ACESSO

Os sensores *Lidar* estarem presentes em alguns dispositivos de *tablet* e *smartphones* são situação recente no mercado de eletrônicos. Considerando que são sensores presentes em dispositivos que não tem o escaneamento como principal função, a aquisição de um deles exclusivamente pela presença do *Lidar* pode não ser uma opção viável em grande parte das situações. Ainda assim, para definição de uma referência de viabilidade, uma pesquisa de mercado atual mostrou os seguintes valores:

- *Apple Iphone 13 Pro* - de R\$6.000,00 a R\$8.000,00, aproximadamente, a depender da versão e condição (usado ou novo);
- *Apple Iphone 13 Pro Max* - de R\$6.000,00 a R\$9.000,00, aproximadamente, a depender da versão e condição (usado ou novo);
- *Apple Ipad Pro* – de R\$7.000,00 a R\$12.000,00, aproximadamente, a depender da versão e condição (usado ou novo).

Outra opção para uso de um dos equipamentos seria a locação. Para a presente pesquisa, foi feita uma pesquisa de mercado para locação de um dos três dispositivos, que mostrou que a disponibilidade para a locação por curtos períodos de tempo é baixa ou inexistente, dependendo da localidade. De forma geral, os estabelecimentos que oferecem a locação dos dispositivos alugam para um uso mais continuado, com planos de 6 meses a 3 anos, tornando inviável para um trabalho de escaneamento que pode ser executado em poucas horas. Como se trata de uma questão mercadológica, os relatos feitos aqui podem se tornar obsoletos com um curto prazo de tempo e modificação a situação de disponibilidade de locação.

A execução do experimento aqui demonstrado contou com um empréstimo do aparelho, uma vez que a compra seria inviável e a locação se mostrou indisponível no formato pretendido.

Como o acesso à fotogrametria foi discorrida no comparativo anterior – entre fotogrametria e escaneamento a laser, esta seção colocará apenas os aspectos de acesso do *Lidar* portátil.



A câmera fotográfica continua apresentando alta disponibilidade como ferramenta. Considerando as supracitadas características de acesso aos métodos, percebe-se que a fotogrametria possui melhor acesso para os casos onde o usuário não possui um dispositivo portátil com o sensor *Lidar*. Considerando o custo do dispositivo, a compra exclusivamente para trabalhos de escaneamento ainda não se mostra viável, porém em uma situação onde já existe a posse de um equipamento com o sensor, torna a sua utilização bastante acessível.

### 3.1.2.4.2 CONHECIMENTO DEMANDADO

Os conhecimentos para o escaneamento utilizando o *Lidar* portátil podem ser considerados simples, pois pressupõe-se que a manipulação do *hardware* - *smartphone* ou *tablet*, é dominado pelo usuário do equipamento, que, como já citado, não possui o sensor *Lidar* como principal função. Com o domínio da utilização do aparelho para aquisição de aplicativos para escaneamento, o procedimento de captura é de fácil compreensão, e frequentemente vem acompanhado de tutoriais e suporte ao usuário, como foi o caso da utilização do aplicativo *Scaniverse* na presente pesquisa.

Como já explicitado no experimento anterior, os conhecimentos demandados para a captura por fotogrametria exigem mais do que domínio da câmera fotográfica. Depende-se, ao menos, de algum conhecimento sobre fotografia e domínio de *software* para restituição fotogramétrica.

Portanto, considerando a complexidade dos conhecimentos demandados, a utilização do *Lidar* portátil para um levantamento pode ser uma situação mais simples e menos onerosa do ponto de vista de treinamento e custo de operação. Já a fotogrametria apresenta uma cadeia de processos que necessita de conhecimentos mais diversos e especializados.

### 3.1.2.4.3 TEMPO DA CAPTURA

Como uma referência de aplicação da fotogrametria, para a captura executada na edificação do Espaço Comum Luiz Estrela, o levantamento fotográfico completo levou aproximadamente 2 horas para a captura das 832 fotografias. O processamento da nuvem de pontos, considerando o tempo de processamento do software e a manipulação de entradas e pontos de controle levaram aproximadamente 1 hora e 10 minutos. Com isso, todo o processo de captura e restituição levou aproximadamente 3 horas e 10 minutos no total.

Ainda para referência, o computador utilizado para o trabalho possui as seguintes configurações: Processador Intel(R) Core(TM), i7-12700KF, 3.60 GHz, 12ª geração; Memória RAM de 32 GB; Sistema operacional de 64 bits (Windows 11 Pro); Placa de Vídeo NVIDIA GeForce RTX 3060.

O escaneamento com o *Iphone 13 Pro Max* levou aproximadamente 40 minutos para o escaneamento de toda a porção da edificação capturada, feito em uma só tomada de captura. O aplicativo *Scaniverse* possui as funções de pausar e retomar o escaneamento, que foi utilizada brevemente em alguns momentos, mas o processamento completo da nuvem de pontos é feito apenas após a tomada completa da captura intencional. Após a captura, o aplicativo levou aproximadamente 20 minutos para o processamento da versão final da nuvem de pontos.

Considerando os registros de tempo de captura de ambos os métodos, constata-se que o *Lidar* portátil possui a cadeia de processos mais rápida e automatizada, diferente da fotogrametria, que, como já colocado anteriormente, depende das tomadas fotográficas executadas manualmente e do *workflow* para a restituição fotogramétrica pelo *software*.

#### 3.1.2.4.4 COMPLEXIDADE DO PROCESSO DE CAPTURA

Considerando que as complexidades de captura por fotogrametria já foram explicitadas no experimento anterior, coloca-se nesta seção os pontos relevantes para a Complexidade do processo de captura com o *Lidar* portátil.

Tal como o escaneamento a laser e a fotogrametria, a captura pelo *Lidar* portátil também depende da iluminação, não para de fato executar a captura, mas para a qualidade do produto final da nuvem de pontos. Alterações na luz no momento da captura ou a iluminação insuficiente promove falhas de precisão e desalinhamento entre os pontos.

Outro limitador para a captura com o *Lidar* portátil, também presente na captura com a fotogrametria, é a limitação de distância. Porém, diferente da fotogrametria, onde existe uma limitação de qualidade da entrada baseada na distância capturada na fotografia, o *Lidar* portátil possui uma limitação física de captura de 5m de distância. Portanto a captura é feita de forma padronizada pelo sensor *Lidar* até os 5m, e a partir disso não efetua a captura.

Os próprios aplicativos de captura com o *Lidar*, como o *Scaniverse*, orientam que no momento da captura, a velocidade de movimento do dispositivo seja lenta, colocando mais uma complexidade para o método. Junto à questão da velocidade de movimento, coloca-se também o fato de que a captura é feita em tomada única, sem edições de alinhamento da captura, o que faz com o que o resultado final não seja passível de controle de construção da nuvem de pontos, apenas de controle dos pontos já construídos.

Considerando todos os tópicos colocados, entende-se que a fotogrametria possui diversos quesitos a serem considerados para a completude de toda a cadeia de processos até o resultado final, porém a permissão de controle sobre a construção do resultado final vai além das tomadas fotográficas, que também poderiam ser refeitas ou completadas posteriormente. Já o *Lidar* portátil possui uma cadeia de processos até o produto final bem automatizada e com complexidades fáceis de serem planejadas e cumpridas na captura, porém não permite nenhum controle sobre o modelo final além das condições de captura.

### 3.1.2.4.5 QUALIDADE DO PRODUTO

Para este comparativo de qualidade, o primeiro quesito a ser considerado é a densidade da nuvem de pontos, por ser uma característica marcante na diferença entre os dois métodos. A nuvem originada da fotogrametria é razoavelmente densa, onde nota-se distância de pontos de 1mm até 20mm aproximadamente, a depender da qualidade de imagem da fotografia – considerando iluminação, resolução e sobreposições. A nuvem não apresenta uma uniformidade na construção dos pontos, por possuir várias entradas de informação para a construção de cada trecho, e inclusive apresenta alguns “buracos” de informação em locais de textura reflexiva, muito escura, ou que não tenha informação o suficiente nas entradas. Portanto a nuvem de pontos depende diretamente da qualidade das entradas para o resultado final, que não possui exatamente uma densidade uniforme dos pontos na nuvem independente disto.

Já a nuvem de pontos originada do escaneamento com o Lidar portátil possui uma uniformidade nos distanciamentos de pontos, que se apresentam bastante esparsos e comparação. A distância dos pontos no presente experimento apresentou como um padrão, a distância entre pontos de 50mm, com poucas exceções de menor distanciamento. A baixa densidade faz com que detalhes e diferenças de forma menores que 50mm sejam ignorados, e dificulta também o trabalho com a nuvem de pontos, que prejudica a compreensão das informações quando se necessita de uma aproximação maior dos elementos. As Figuras 73 a 75 ilustram a diferença de densidade dos dois levantamentos.

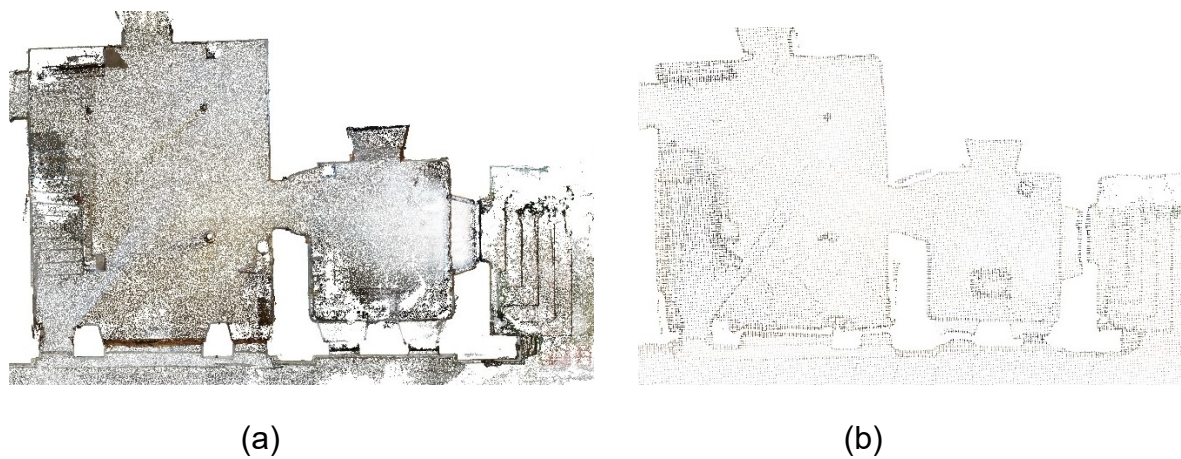
Além disso, como ilustrado pelas Figura 76 e Figura 77 , para a criação de malha sólida por meio da nuvem de pontos, a esparsidade dos pontos promove de falta de detalhes que inviabiliza o uso técnico da nuvem para referência de modelagem ou aferição de dimensões de forma precisa.

Figura 73 - Perspectivas isométricas externas do ECLE nas nuvens de pontos obtidas por (a) restituição fotogramétrica e (b) escaneamento com Lidar portátil, ilustrando a comparação entre os níveis de densidade dos pontos.



Fonte: autor, 2023.

Figura 74 – Seções horizontais do hall de entrada e hall central do ECLE nas nuvens de pontos obtidas por (a) restituição fotogramétrica e (b) escaneamento com *Lidar* portátil, ilustrando a comparação entre os níveis de densidade dos pontos.



Fonte: autor, 2023.

Figura 75 - Perspectivas internas do hall central do ECLE nas nuvens de pontos obtidas por (a) restituição fotogramétrica e (b) escaneamento com Lidar portátil, ilustrando a comparação entre os níveis de densidade dos pontos.



Fonte: autor, 2023.

Figura 76 - Ortofotos da fachada frontal do ECLE no modelo de malha triangular irregular texturizada obtidas por (a) restituição fotogramétrica e (b) escaneamento com *Lidar* portátil.



Fonte: autor, 2023.



Figura 77 – Perspectivas externas de parte das fachadas frontal e lateral direita do ECLE no modelo de malha triangular irregular texturizada obtidas por (a) restituição fotogramétrica e (b) escaneamento com Lidar portátil.

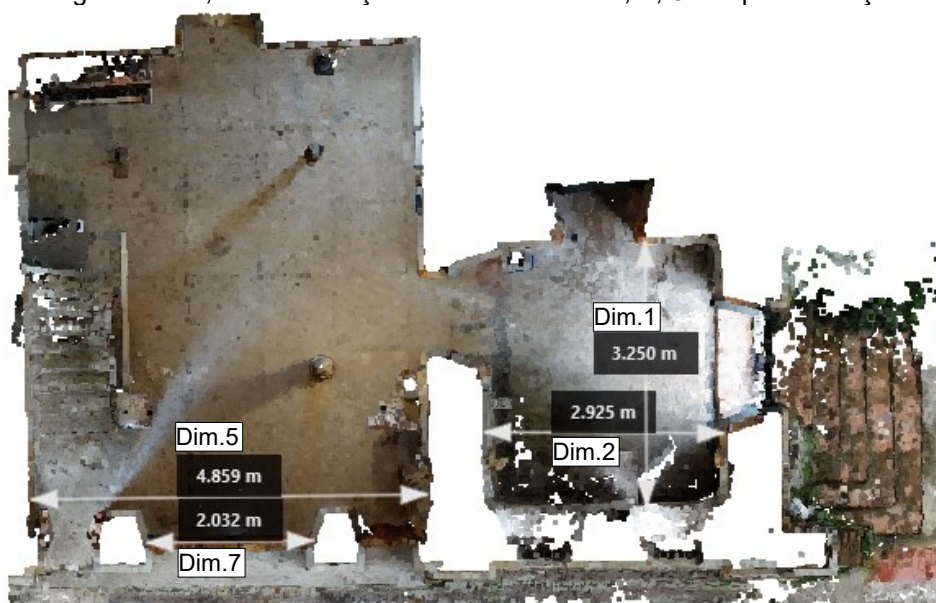


Fonte: autor, 2023.

Para análise da precisão, foram levantadas in-loco e com método analógico manual (trenas de fita e a laser) 10 dimensões além da dimensão de referência para escala do modelo, com a intenção de comparar as dimensões entre os 3 métodos. O método

análogo funciona como o referencial para a aferição da precisão das dimensões obtidas pelos modelos digitais.

Figura 78 – Seção horizontal do 1º pavimento do ECLE na nuvem de pontos obtida por restituição fotogramétrica, com marcação das dimensões 1, 2, 5 e 7 para aferição de precisão.



Fonte: autor, 2023.

Figura 79 – Seção horizontal do 2º pavimento do ECLE na nuvem de pontos obtida por restituição fotogramétrica, com marcação da dimensão 9 para aferição de precisão, e dimensão de referência utilizada para o controle de escala do modelo.



Fonte: autor, 2023.

Figura 80 – Perspectiva seccionada do ECLE na nuvem de pontos obtida por restituição fotogramétrica, com marcação das dimensões 3, 4 e 10 para aferição de precisão.



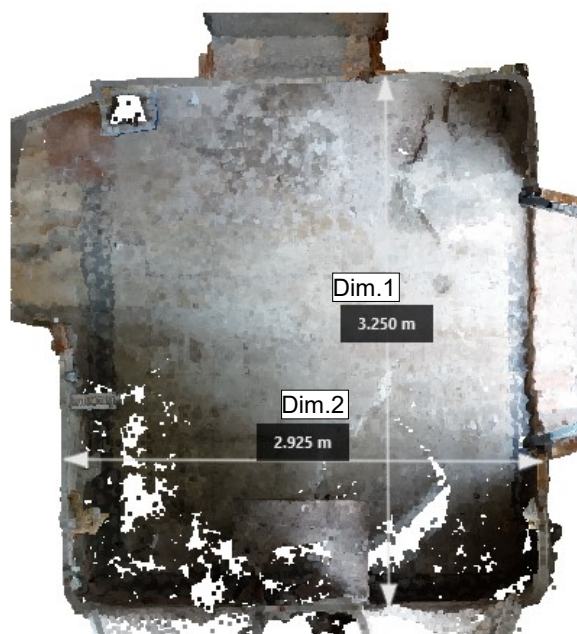
Fonte: autor, 2023.

Figura 81 – Perspectiva seccionada do ECLE na nuvem de pontos obtida por restituição fotogramétrica, com marcação das dimensões 6 e 8 para aferição de precisão.

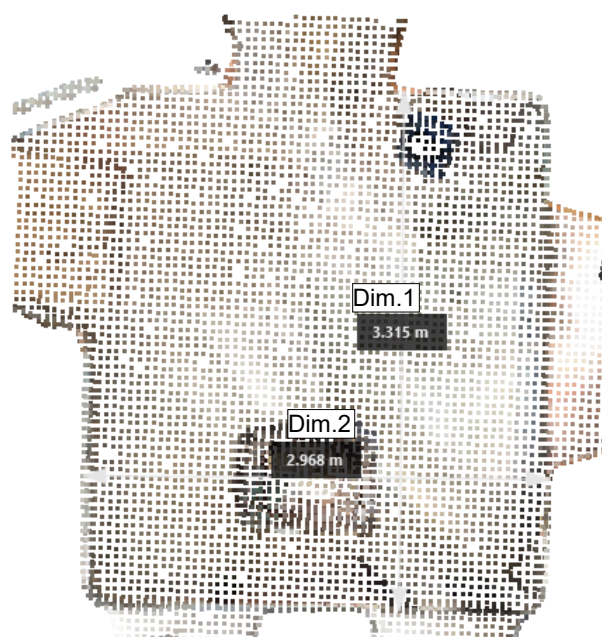


Fonte: autor, 2023.

Figura 82 – Seção horizontal do hall lateral do ECLE na nuvem de pontos obtida por (a) restituição fotogramétrica e (b) escaneamento com Lidar portátil, com marcação das dimensões 1 e 2 para aferição de precisão.



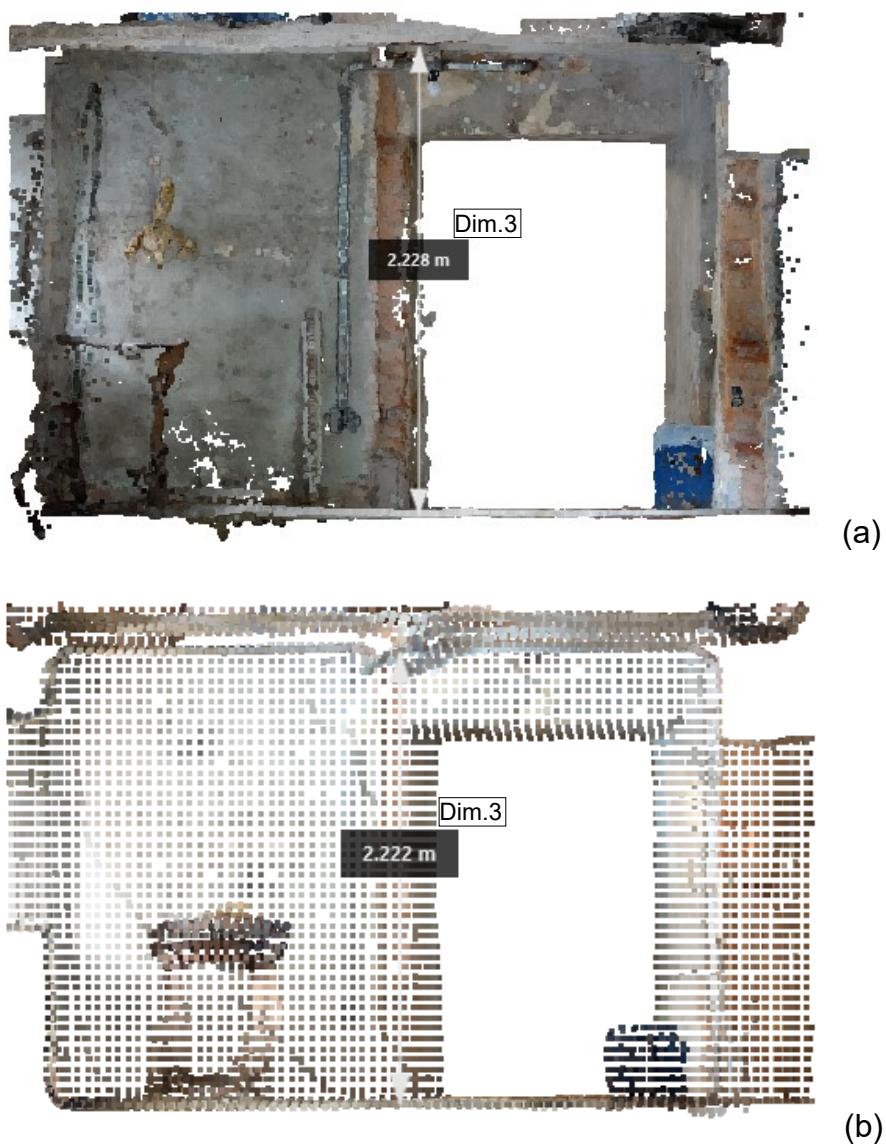
(a)



(b)

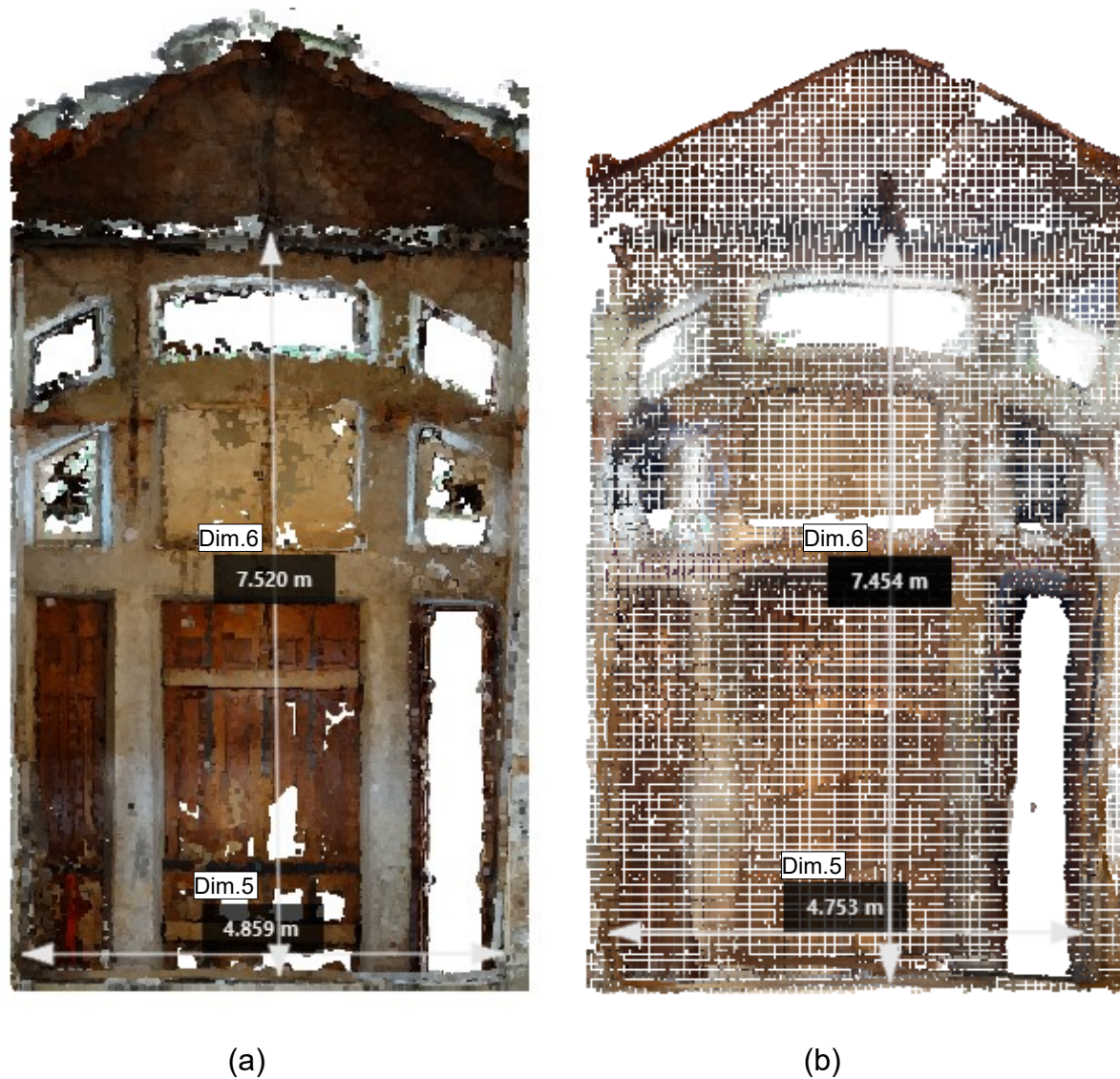
Fonte: autor, 2023.

Figura 83 - Elevação do hall lateral do ECLE na nuvem de pontos obtida por (a) restituição fotogramétrica e (b) escaneamento com Lidar portátil, com marcação da dimensão 3 para aferição de precisão.



Fonte: autor, 2023.

Figura 84 – Elevações do hall central do ECLE na nuvem de pontos obtida por (a) restituição fotogramétrica e (b) escaneamento com *Lidar* portátil, com marcação das dimensões 5 e 6 para aferição de precisão.



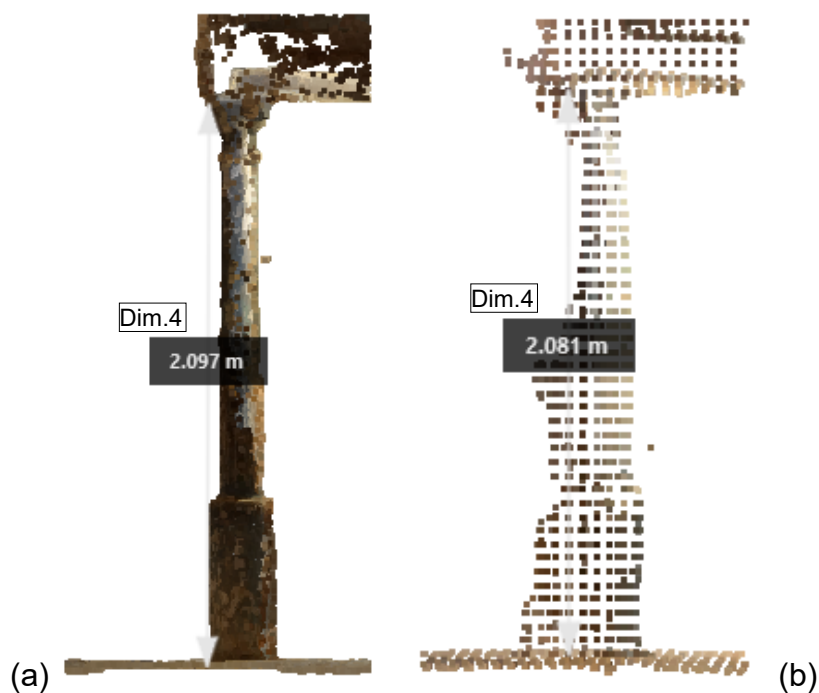
Fonte: autor, 2023.

Figura 85 – Elevações do hall central do ECLE na nuvem de pontos obtida por (a) restituição fotogramétrica e (b) escaneamento com *Lidar* portátil, com marcação das dimensões 7 e 8 para aferição de precisão.



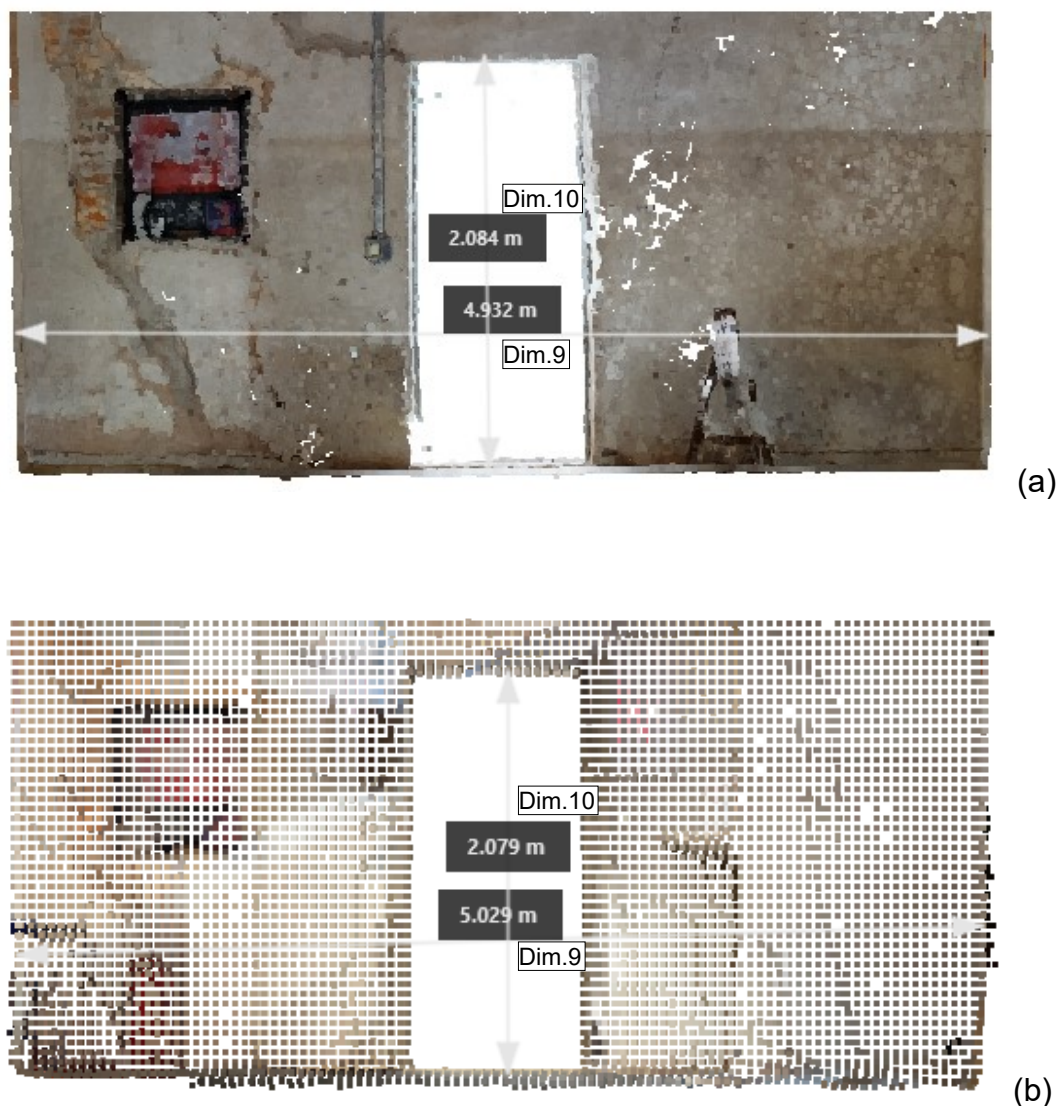
Fonte: autor, 2023.

Figura 86 – Elevações do pilar de suporte do balcão do hall central do ECLE na nuvem de pontos obtida por (a) restituição fotogramétrica e (b) escaneamento com *Lidar* portátil, com marcação da dimensão 4 para aferição de precisão.



Fonte: autor, 2023.

Figura 87 - Elevações do balcão no 2º pavimento do ECLE na nuvem de pontos obtida por (a) restituição fotogramétrica e (b) escaneamento com *Lidar* portátil, com marcação das dimensões 9 e 10 para aferição de precisão.



Fonte: autor, 2023.

A Tabela 3 mostra o comparativo das dimensões e as diferenças de precisão entre os métodos digitais no modelo do Espaço Comum Luiz Estrela. As dimensões, em metros, levam em consideração até a segunda casa decimal, desprezando os milímetros, uma vez que é um nível de precisão difícil de obter com as trenas para um referencial confiável. Portanto, as diferenças de 1cm ou 0,01m demonstradas na tabela devem ser consideradas como 0,01m ou menor.



Tabela 3 - Comparativo de dimensões do Espaço Comum Luiz Estrela aferidas manualmente in-loco, em nuvem de pontos oriunda de escaneamento com *Lidar* portátil, e em nuvem de pontos oriunda de restituição fotogramétrica.

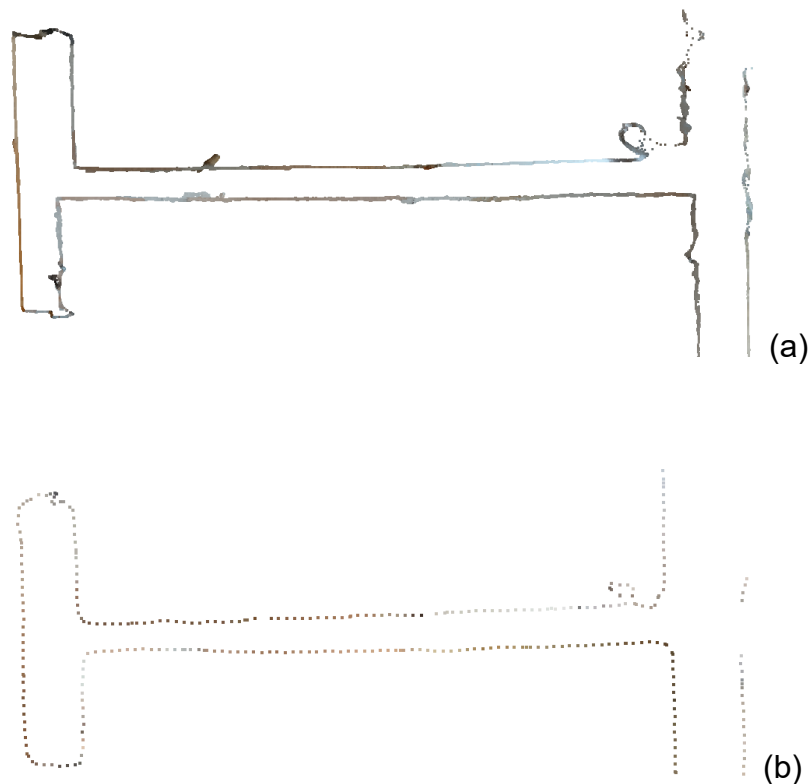
	Manual in-loco (m)	Fotogrametria (m)	<i>Lidar</i> portátil (m)	Diferenças (m)	
Dimensão 1	3,25	3,25	3,31	0	+0,06
Dimensão 2	2,94	2,93	2,97	-0,01	+0,03
Dimensão 3	2,24	2,23	2,22	-0,01	-0,02
Dimensão 4	2,10	2,10	2,08	0	-0,02
Dimensão 5	4,84	4,86	4,75	+0,02	-0,09
Dimensão 6	7,49	7,52	7,45	+0,03	-0,04
Dimensão 7	2,04	2,03	2,06	-0,01	+0,02
Dimensão 8	3,87	3,87	3,91	0	+0,04
Dimensão 9	4,96	4,93	5,03	-0,03	+0,07
Dimensão 10	2,08	2,08	2,08	0	0

Fonte: autor, 2023.

A aferição das dimensões do experimento constata neste aspecto que o *Lidar* portátil possui precisão limitada na captura, uma vez que variou uma média de 4cm entre as 10 dimensões utilizadas, sendo que 9 delas, existiu uma variação de 2cm ou mais. Já a fotogrametria, convergindo conclusões com o experimento anterior, apresentou uma precisão maior, com média de variação de 1cm, e variação máxima de 3cm.

Ainda sobre precisão da informação capturada, tal como explicitado no início desta seção, os pontos da nuvem gerada pelo *Lidar* portátil possuem baixa densidade, com um padrão de 50mm de distância entre eles. Tal distância faz com que detalhes e formas menores que 50mm sejam ignorados ou completados de forma equivocada. A Figura 88 ilustra, em seções horizontais em paredes do 2º pavimento do ECLE, como as quinas de paredes são capturadas de forma mais detalhada por fotogrametria, e sofrem uma distorção de abaulamento na captura pelo *Lidar* portátil.

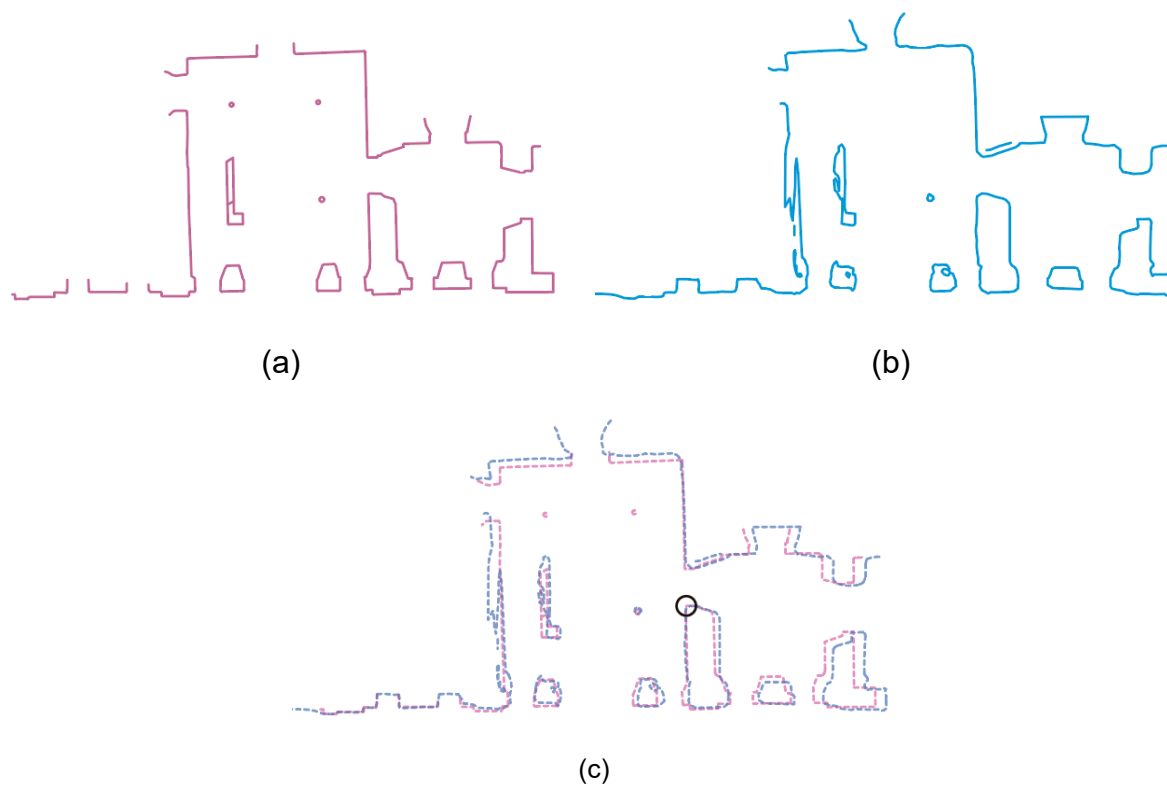
Figura 88 – Ilustração de seções horizontais em paredes do 2º pavimento do ECLE, feitas a partir das nuvens de pontos de: (a) restituição fotogramétrica e (b) escaneamento com *Lidar* portátil.



Fonte: autor, 2023.

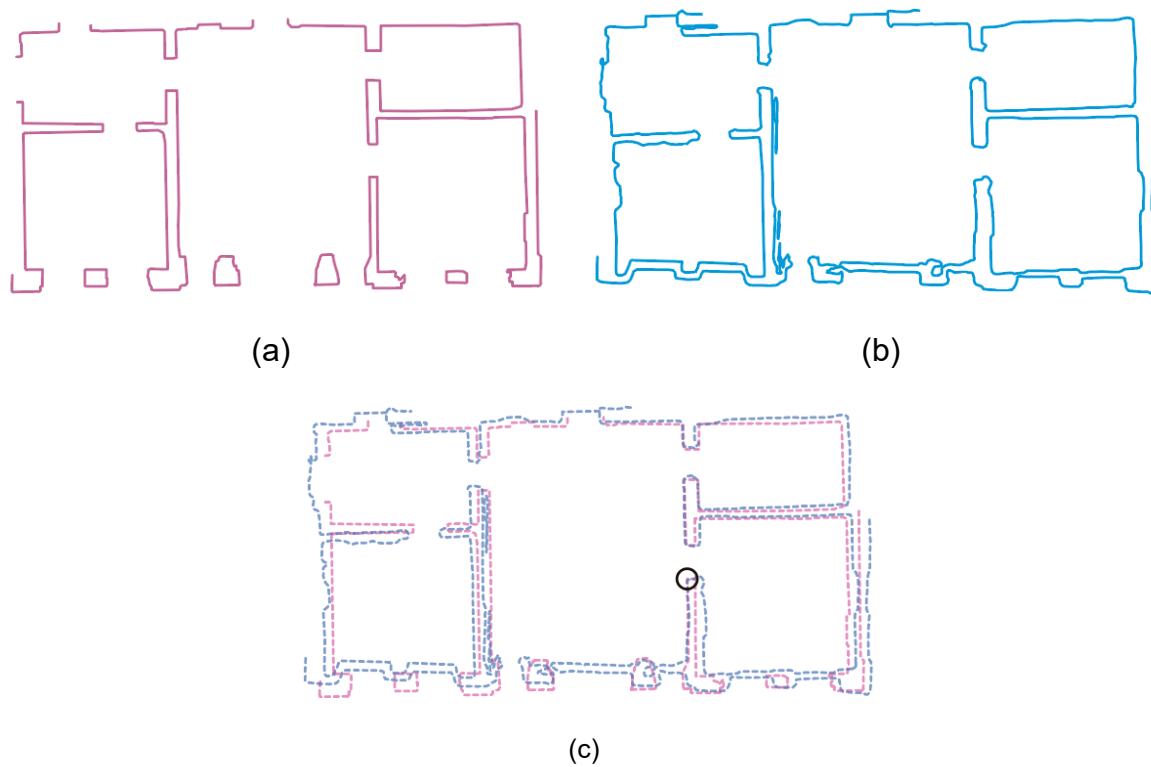
Para avaliação da precisão ainda de forma gráfica, foram desenhados plantas e corte simplificados, a fim de comparar os desenhos obtidos por ambos os métodos digitais. As Figuras 89 a 91 ilustram os contornos e sobreposições dos desenhos, explicitando uma baixa similaridade entre as capturas, além de vários pontos de distorção nos contornos oriundos do levantamento com o *Lidar* portátil. Os contornos oriundos da fotogrametria apresentam formas mais ortogonais e compatíveis com a geometria real da edificação.

Figura 89 -- Ilustrações dos desenhos de seção horizontal do 1º pavimento do ECLE, feitas a partir das nuvens de pontos oriundas de: (a) restituição fotogramétrica, (b) escaneamento com *Lidar* portátil, e (c) sobreposição de ambas, com ponto de ancoragem indicado pelo círculo preto.



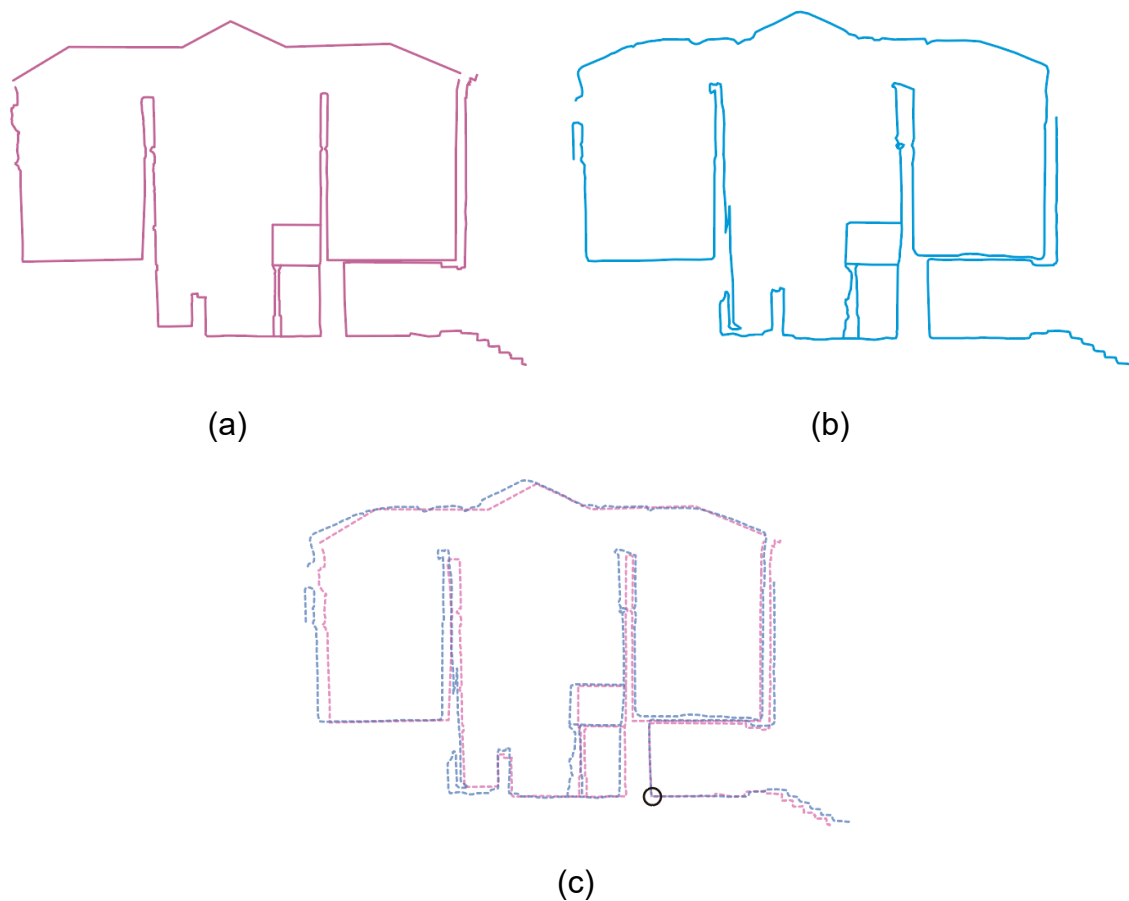
Fonte: autor, 2023.

Figura 90 - Ilustrações dos desenhos de seção horizontal do 2º pavimento do ECLE, feitas a partir das nuvens de pontos oriundas de: (a) restituição fotogramétrica, (b) escaneamento com *Lidar* portátil, e (c) sobreposição de ambas, com ponto de ancoragem indicado pelo círculo preto.



Fonte: autor, 2023.

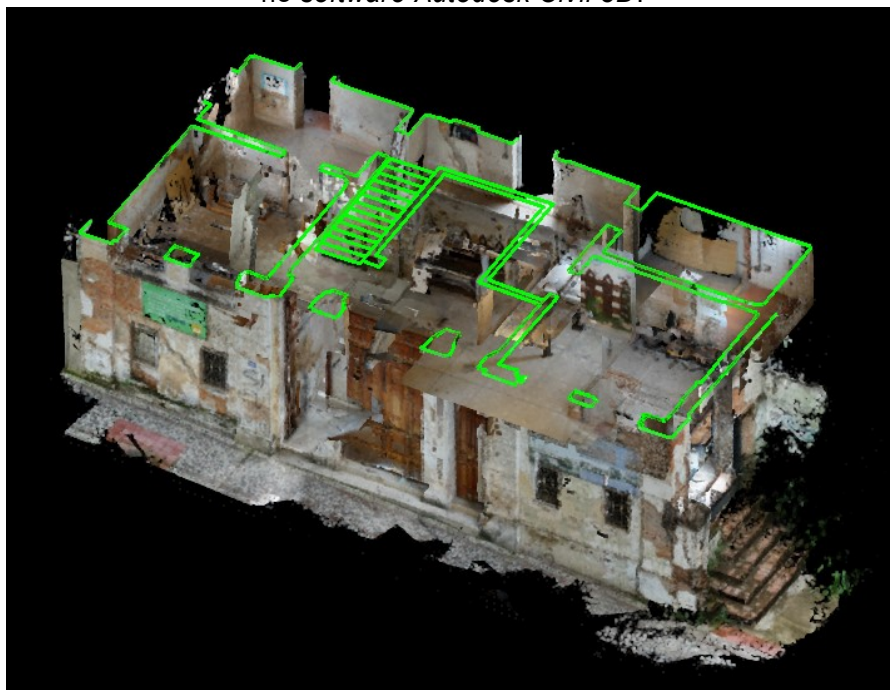
Figura 91 - Ilustrações dos desenhos de seção vertical transversal do ECLE, feitas a partir das nuvens de pontos oriundas de: (a) restituição fotogramétrica, (b) escaneamento com *Lidar* portátil, e (c) sobreposição de ambas, com ponto de ancoragem indicado pelo círculo preto.



Fonte: autor, 2023.

Os desenhos foram executados no *software Autodesk Civil 3D*, como ilustrado na Figura 92.

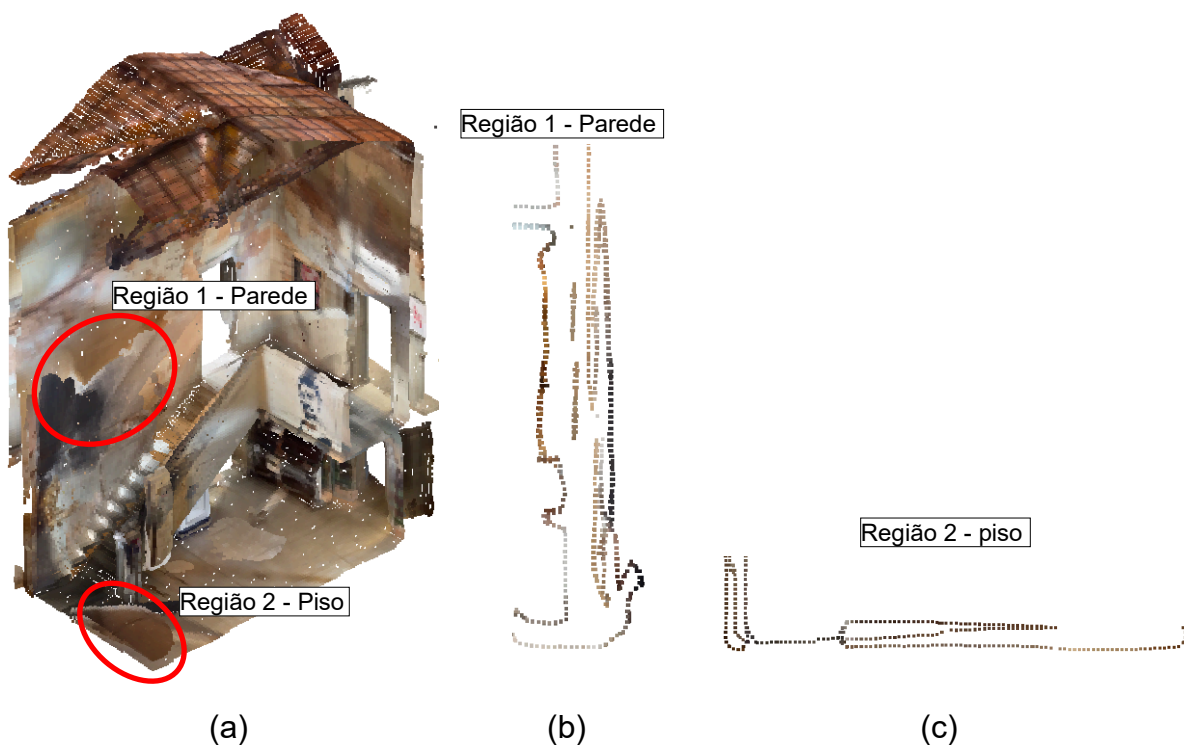
Figura 92 - Ilustração do processo de desenho de linhas a partir de seções na nuvem de pontos, no software Autodesk Civil 3D.



Fonte: autor, 2023.

A Figura 93 lustra mais um tipo de disformidade da nuvem de pontos que captura com o Lidar portátil apresenta, onde a região escaneada é duplicada ou triplicada, como se houvesse mais de um escaneamento da região e o processamento os posicionaram em pontos diferentes do espaço. Especula-se que esse tipo de disformidade pode ser causada por uma falta de precisão do sensor em localizar ou relocalizar cada ponto no espaço quando a captura os perpassa por mais de uma vez.

Figura 93 – (a) Perspectiva isométrica seccionada do hall central do ECLE, com marcações de localização da Região 1 – Parede e Região 2 – Piso em vermelho; (b) seção vertical na Região 1 – Parede; (c) seção vertical na Região 2 – Piso.



Fonte: autor, 2023.

No produto da fotogrametria do ECLE, como citado anteriormente, existem alguns “buracos” na restituição. Esta situação pode acontecer por falta de informação ou falta de sobreposição entre as fotografias, por conta das superfícies reflexivas – já colocadas aqui como uma complexidade para a restituição fotogramétrica, ou pelas texturas demasiadas repetitivas. Como ilustrado pelas Figura 94 a Figura 96, os vazios mais expressivos na captura do ECLE foram em algumas janelas, nas portas frontais e em algumas regiões onde a luz variava muito no mesmo ambiente no momento da captura. Nas janelas e portas, entende-se que o motivo é a presença das superfícies reflexivas – janelas de vidro e portas revestidas com verniz de acabamento brilhante. Nos pontos onde apresentava variação de iluminação, entende-se que as fotografias tomadas contra ou a favor da luz acabam por apresentar a imagem com características diferentes de luz e cor pelo ajuste da lente e obturador, fazendo com que o *software* de restituição não reconheça algumas sobreposições de informação entre uma fotografia e outra.

Figura 94 – Perspectiva de um dos ambientes do 2º pavimento do ECLE, na nuvem de pontos obtida por restituição fotogramétrica.



Fonte: autor, 2023.

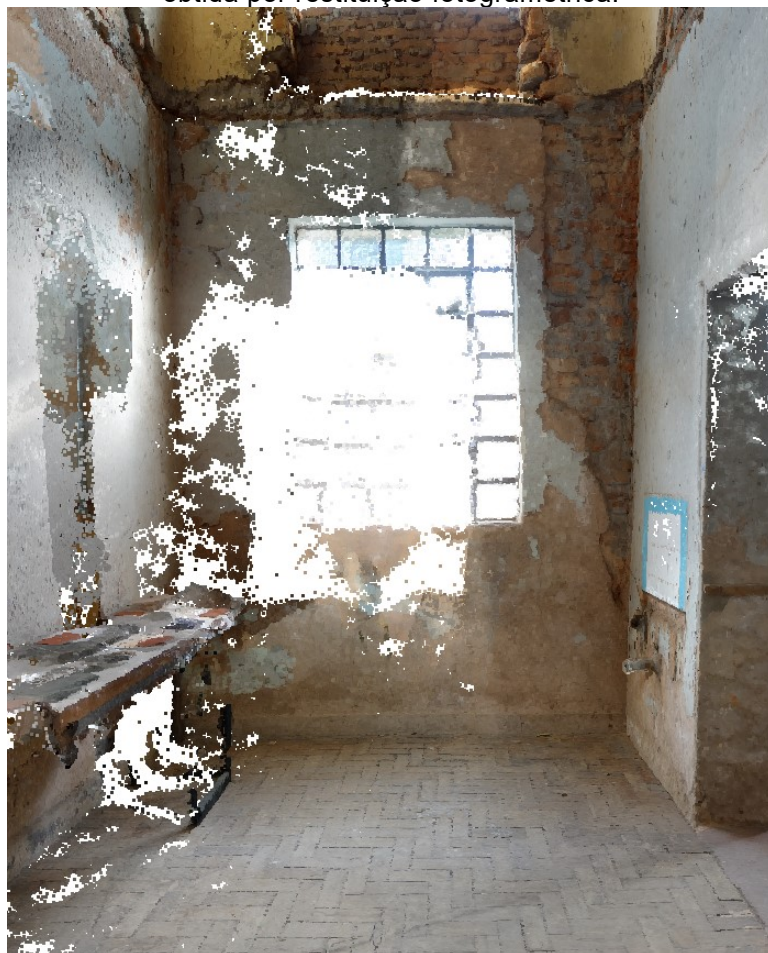
Figura 95 - Perspectiva do hall central do ECLE, na nuvem de pontos obtida por restituição fotogramétrica.



Fonte: autor, 2023.



Figura 96 - Perspectiva de um dos ambientes do 2º pavimento do ECLE, na nuvem de pontos obtida por restituição fotogramétrica.



Fonte: autor, 2023.

### 3.1.2.4.6 NÍVEL DE CONTROLE DA QUALIDADE DO PRODUTO

Tal como o escaneamento a laser, o escaneamento pelo *Lidar* portátil possui as etapas de processo até o produto final de forma automatizada, com exceção do momento da captura em si. As opções dadas pelo aplicativo e o processamento automático permitem um menor controle da qualidade do produto, apesar de facilitarem o levantamento como um todo.

Como já exposto no experimento anterior, a fotogrametria possui alguns pontos para controle da qualidade da nuvem de pontos considerando as tomadas fotográficas, o ambiente e o trabalho no *software* de restituição.

No escaneamento pelo *Lidar* portátil, as variáveis de controle de qualidade são:

- Planejamento ambiental, como iluminação, que pode ser planejada para a menor mudança possível no decorrer da captura, e controle do espaço, que pode ser liberado de obstáculo, por exemplo;
- Utilização de ferramentas para maior proximidade de todas as áreas a serem escaneadas, considerando o alcance máximo de 5 metros;
- “Modo de processamento”, oferecidos pelo aplicativo com focos diferentes baseados nas características do que se está escaneando;
- Conhecimento de manipulação de software e seu *workflow*, para limpeza e utilização da nuvem de pontos.

Uma característica da nuvem de pontos obtida pelo *Lidar* portátil que difere muito da fotogrametria ou até mesmo do escaneamento a *laser*, é que se apresenta como um produto sem entradas (*inputs*), o que o impede de ser inserido ou modificado em softwares de manipulação de captura de realidade, como é o *RealityCapture*. A nuvem de pontos exportada pelo Scaniverse, por exemplo, virá como formato de arquivo de nuvem de pontos já “fechada” (.LAS, por exemplo), e pode ser importada como “componente” para o *RealityCapture*, mas não possui entradas para criação de pontos ou medidas de controle, e conseqüentemente não pode ser unida com outras entradas no mesmo projeto.

A junção de múltiplas nuvens de pontos capturadas com o *Lidar* portátil pode ser feita apenas com referência espaciais e junção manual das nuvens em softwares que possuem ferramentas para livre movimentação das nuvens no espaço de trabalho –

como o *CloudCompare*. Como já exposto no *workflow* do presente experimento, o *CloudCompare* também foi usado para definição de escala da nuvem de pontos vinda do Scaniverse, justamente pela impossibilidade de definições de pontos de controle, utilizando rudimentarmente de dimensão de referência, que pode faltar com precisão considerando dimensões maiores.

Portanto, mesmo com a maior quantidade de pontos variáveis pra a definição da qualidade do produto final que a fotogrametria apresenta no seu processo de levantamento, possui um alto nível de controle dos processos e consequentemente do produto.

Já o escaneamento pelo *Lidar* portátil, não só apresenta uma cadeia de processos mais automatizados e pré-definidos, como entrega um produto com uma certa rigidez para o trabalho posterior ou união a outros projetos. Assim, por exemplo, uma união de métodos, tal como a exposta possibilidade de fotogrametria unida ao escaneamento a laser, não seria possível com o escaneamento pelo *Lidar* portátil.

#### 4 CONCLUSÃO

Os métodos digitais para captura de realidade, após anos de evolução gradual, estão hoje inseridos de forma mais presente e significativa na arquitetura e na preservação do Patrimônio Cultural. As melhorias tecnológicas dos hardwares e dos softwares necessários para execução de restituições fotogramétricas e varreduras a laser proporcionaram mais eficiência e automatização dos processos, além de diminuição de custos, ainda que não tanto diretamente nas ferramentas, mas ao menos com economia processual e valor agregado à qualidade do produto.

A captura de realidade digital proporciona um levantamento cadastral eficiente, preciso e completo, por levar em consideração o *as-is* do edifício, com a representação de suas deformações, danos e características únicas. Apresenta em um só produto, o levantamento métrico, os aspectos visuais e a possibilidade de percepções físicas.

A nuvem de pontos, produto dos processos de captura por fotogrametria e escaneamentos a laser, pode ser transformada em malhas triangulares irregulares texturizadas para modelos de RA e outras formas para acesso e divulgação das edificações de interesse cultural. Dela, pode-se exportar ortofotos que servirão como base para mapas de danos, além de colaborar do mapeamento de danos em si. Além disso, é base precisa para modelagem HBIM, e pode melhorar consideravelmente a qualidade do modelo por ser um produto completo de representação da realidade visual da edificação.

Nos experimentos comparativos feitos, pode-se perceber uma grande quantidade de variáveis a serem analisadas simultaneamente para a definição da qualidade final de cada um. Os métodos apresentam vantagens e carências bastante específicas que influenciam diretamente nas características do produto final, e no nível de controle que se tem do processo de utilização deles para a captura.

O Quadro 3 demonstra de forma resumida as percepções oriundas dos experimentos, baseados nos pontos utilizados para análise comparativa entre a fotogrametria, o escaneamento a *laser* e o *Lidar* portátil.

Quadro 3 - Resumo do comparativo entre fotogrametria, escaneamento a laser (TLS), e Lidar portátil.

	<b>Fotogrametria</b>	<b>Escaneamento a laser (TLS)</b>	<b>Lidar portátil</b>
<b>Acesso</b>	<i>Hardware</i> com alta acessibilidade (câmera fotográfica); <i>Software</i> com média acessibilidade (especializado, mas com custo mais reduzido)	Baixa acessibilidade para <i>hardware</i> (custo mais elevado), e média acessibilidade para <i>software</i> (especializado, mas com custo mais reduzido)	Baixa acessibilidade quando não se possui o dispositivo com o sensor; alta acessibilidade quando se possui o dispositivo com o sensor.
<b>Conhecimento demandado</b>	Metodologia, hardware (câmera fotográfica) e <i>software</i> (restituição fotogramétrica)	Metodologia, <i>hardware (laser scanner)</i> e <i>softwares</i> (de apoio na varredura e de processamento de dados do escaneamento)	Sistema operacional do dispositivo e <i>software</i> (aplicativo)
<b>Tempo de captura</b>	Média velocidade – de minutos a poucas horas para tomadas fotográficas e restituição fotogramétrica	Alta velocidade – muitos pontos capturados por segundo	Alta velocidade – processos automatizados de captura e processamento facilitados pela câmera do dispositivo
<b>Complexidade do processo de captura</b>	Alta - complexidade na metodologia para tomadas fotográficas e controle de dados no <i>software</i>	Alta - complexidade no fluxo de processos, manipulação de <i>hardware</i> e <i>softwares</i>	Baixa - aplicativo, captura e processamento simplificados e automatizados
<b>Qualidade do produto</b>	Média - Boa precisão, boa texturização, pode apresentar alguma	Alta - alta precisão, boa texturização a depender do equipamento, nuvens	Baixa - precisão instável, baixa densidade, apresenta disformidades com

	disformidade na formação dos pontos	de ponto densas e completas	facilidade na formação dos pontos
<b>Nível de controle da qualidade do produto</b>	Alto – quantidade e qualidade de fotografias, pontos de controle.	Médio – processos automatizados e pré-definidos, controle nas configurações do scanner	Baixo – processos automatizados e pré-definidos, poucas configurações no aplicativo

Fonte: autor, 2023.

A pesquisa experimental confirmou de forma empírica a teoria acerca da precisão e da qualidade do produto gerado pelo *laser scanner* terrestre. É um método eficiente e eficaz, que fornece nuvens de pontos com precisão da reprodução da realidade, fazendo com que o levantamento seja uma base confiável de dados para o registro documental e desenvolvimento de projetos. Ainda que um método oneroso e ainda pouco disponível para o usuário não especializado, tem evoluído mercadologicamente com grande velocidade, o que pode fazer com que os investimentos em evoluções tecnológicas proporcionem equipamentos melhores e diminuição de custos.

A fotogrametria, nos termos do experimento executado, também demonstrou um nível de qualidade satisfatório do ponto de vista de precisão da nuvem de pontos e do nível de controle que os softwares mais recentes nos proporcionam. O método fornece um produto bastante eficaz, considerando que a matéria-prima utilizada são simples fotografias, técnica de captura visual tão presente em nosso cotidiano. O nível de disponibilidade e facilidade de acesso se mostra como a principal qualidade da restituição fotogramétrica.

Todos os resultados obtidos nos comparativos podem ser modificados e aprimorados pelo uso dos drones, de escadas ou de andaimes, e também aumentaria a complexidade da metodologia de captura, uma vez que seriam somas de métodos e influenciariam os dados de forma exponencial. Nas restituições fotogramétrica, nota-se uma clara diferença de qualidade entre as porções de edificação capturadas na altura ou próximas da altura do observador uma vez que a imagem da fotografia captura com melhor qualidade os elementos mais próximos.

O *Lidar* portátil, como utilizado no experimento desta pesquisa, demonstra desempenho insatisfatório para uso técnico de medições ou base para modelagens, uma vez que apresentou baixa precisão e alta instabilidade na captura dos pontos. Possivelmente a utilização de aplicativos que somem técnicas de captura com o uso do Lidar (como a fotogrametria) melhorariam o produto resultante da captura, o que significa que os dispositivos que possuem o sensor podem executar capturas eficazes.

Ainda que seja um *scanner a laser*, somado ao uso do aplicativo Scaniverse, se mostrou em uma versão menos eficaz para este uso mais especializado, e possivelmente cumpre o prometido pela sua publicização – medições simplificadas para decoração, realidade aumentada em *smartphones* e *tablets*, e fotografias melhores no escuro. Talvez possa ser utilizado em capturas para conferências com menor necessidade de precisão ou registros com finalidades mais genéricas.

Os estudos com os dispositivos portáteis com a presença do sensor *Lidar* ainda são recentes e incipientes, e apesar de apresentarem resultados das aplicações práticas, ainda possuem alguns questionamentos acerca da metodologia por trás do funcionamento destes equipamentos. Coloca-se aqui como principal questionamento qual a influência que o software tem sobre o desempenho do hardware, e qual é de fato o controle que o usuário tem sobre qual o método de captura a ser utilizado quando o dispositivo conta com câmeras e sensor a laser.

Para qualquer trabalho de captura de realidade por técnicas digitais, devem ser levadas em consideração todas as características de aplicação, uma vez que para cada demanda, necessidade de precisão e disponibilidade de recursos, uma ou outra variável pode ser a mais relevante. Por exemplo, o porte da edificação a ser capturada pode ser fator inviabilizador da fotogrametria frente à velocidade e eficiência do escaneamento a laser. Portanto considera-se a melhor escolha do método, aquela que se enquadra nas necessidades e capacidades do projeto em que ele será utilizado.

Atualmente, em trabalhos de captura de realidade mais complexos, tem sido utilizados métodos somados para um melhor resultado total. A soma de métodos significa uma soma de potencial, onde as capacidades das ferramentas se completam para um produto cada vez mais próximo de um gêmeo digital. A precisão e a eficácia do

escaneamento a laser podem ser somadas à versatilidade da aerofotogrametria, que possibilita a captura coberturas, grandes volumes e locais pouco acessíveis. A fotogrametria terrestre e a aerofotogrametria também se completam de forma eficiente e com alto potencial de controle de qualidade do produto por pontos de controle.

Portanto, fica como recomendação para trabalhos futuros, pesquisas experimentais comparativas com métodos digitais de captura de realidade somados, para continuidade de contribuição teórica científica que colabore também na aplicação prática dos métodos.



## REFERÊNCIAS

- ADDISON, A. C. Emerging Trends in Virtual Heritage. **IEEE Multimedia**, Manhattan, v.7, n.2, apr./jun. 2000. p. 22-25
- ADDISON, A. C. The Vanishing Virtual: Safeguarding heritage's endangered digital record. In: KALAY, Y.; KVAN, T.; AFFLECK, J. **New Heritage: New Media and Cultural Heritage**. Nova York: Routledge, 2006, p. 27-39.
- ALENCAR, A. T. S. A gráfica digital e o patrimônio arquitetônico – panorama e estado da arte. In: XXI Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico, X International Conference on Graphics Engineering for Artes and Design, 2013: **Tecnologia e Arte para Inovação**. Florianópolis. Editora CCE – UFSC, 2013.
- AMORIM, A. L. de. Methodological aspects of architectural documentation. In: INTERNATIONAL CIPA SYMPOSIUM, 23, 2011. **CIPA**. Prague, 2011.
- AMORIM, A. L. GROETELAARS, N. J. LINS, E. de A. Um centro de documentação do patrimônio arquitetônico. **Fórum do Patrimônio**. Belo Horizonte: v. 2, n. 1, mai./ago. 2008.
- ANDREWS, D. BEDFORD, J. BRYAN, P. **Metric survey specifications for cultural heritage**. Swindon: English Heritage, 2015.
- ASSUMPÇÃO, J. P. CUPERSCHMID, A. R. M. O uso de 3d laser scanner como método de documentação do patrimônio cultural construído: uma revisão sistemática da literatura. In: **Encontro Brasileiro de Modelagem da Informação da Construção e Patrimônio Cultural**, 1., 2019, São Carlos, IAU-USP, 2019. p. 179-186
- AUSTRALIA ICOMOS. **The Burra Charter**. Sydney: ICOMOS - Charter for Places of Cultural Significance, 2013. Disponível em: [http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/The-Burra-Charter-2013-Adopted-31\\_10\\_2013.pdf](http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/The-Burra-Charter-2013-Adopted-31_10_2013.pdf). Acesso em: 24 jan. 2021.
- BAUWENS, S. BARTHOLOMEUS, H. CALDERS, K. LEJEUNE, P. **Forest inventory with terrestrial LiDAR: A comparison of static and hand-held mobile laser scanning**. Forests. 2016.

BIMForum. **BIM Forum Level of Development (LOD) Specification 2021**. 2021.

Disponível em: [https://bimforum.org/resource/level-of-development-specification/#:~:text=The%20Level%20of%20Development%20\(LOD,the%20design%20and%20construction%20process](https://bimforum.org/resource/level-of-development-specification/#:~:text=The%20Level%20of%20Development%20(LOD,the%20design%20and%20construction%20process). Acesso em: 12 jul. 2022.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

CAMPOS, M. L. A. Modelização de domínios de conhecimento: uma investigação de princípios fundamentais. **Ciência da Informação**, v. 33, n. 1, 2004. p. 22-32.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/ci/a/CyYd3Km3xzTdmf5DzxxQd3h/?format=pdf&lang=pt>.

Acesso em: 28 nov. 2022.

CARSALADE, F. de L. **Desenho contextual: Uma abordagem fenomenológico-existencial ao problema da intervenção e restauro em lugares especiais feitos pelo homem**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007.

CASTRO, A. A. N. de. A Preservação Documental no Brasil. Notas para uma reflexão histórica. **Acervo**, Rio de Janeiro, v. 23, no 2, p. 31-46, jul/dez 2010.

CAVALCANTE, L. E. Patrimônio digital e informação: política, cultura e diversidade. **Encontros Bibli: Revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação**, v.12, n.23, 2007. p. 152-170.

CHAMPION, E. Entertaining the similarities and distinctions between serious games and virtual heritage projects. **Entertaining Computing**, 2015.

CHAMPION, E. History and Cultural Heritage in Virtual Environments. In: GRIMSHAW, M. (Ed.), **The Oxford Handbook of Virtuality**. Oxford: Oxford University Press, 2014. p. 269–283.

CHAMPION, E.; DAVE, B. Dialing up the past. In: CAMERON, F.; KENDERDINE, S. (Eds.). **Theorizing Digital Cultural Heritage: A Critical Discourse**. Cambridge: The MIT Press, 2007. p. 333-347.

CHOAY, F. **A alegoria do Patrimônio**. São Paulo: Estação Liberdade. Ed.UNESP; 6ªed., 2017.

CONARQ. Conselho Nacional de Arquivos. **Carta para a preservação do Patrimônio Arquivístico Digital**. Rio de Janeiro: CONARQ, 2005.

Conferência Geral da Organização das Nações Unidas. **Recomendação de Paris de Obras Públicas ou Privadas**, 1968. Disponível em:

<http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Recomendacao%20de%20Paris%201968.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2023.

CONSELHO DA EUROPA. **Declaração de Amsterdã, 1975**. Tradução Instituto de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. Ministério da Cultura. Brasília: IPHAN, 2000. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/226>. Acesso em: 24 jan. 2021.

CORREA, F. R.; SANTOS, E. T. Ontologias na construção civil: Uma alternativa para o problema de interoperabilidade com o uso do IFC. São Paulo: **Gestão e Tecnologia de Projetos**, v. 9, n. 2, jul./dez, 2014. p. 7-22

CRAMER, J.; BREITLING, S. **Architecture in existing fabric**: Planning, Design, Building. Berlim: Birkhauser, 2007.

CUPERSCHMID, A. R. M.; CERAVOLO, A. L.; GRACHET, M. G.; FRANCO JUNIOR, J. C.; FABRICIO, M. M. Casa de Vidro: BIM e Gestão do Patrimônio Histórico Arquitetônico. **CADERNOS DO PROARQ** (UFRJ), Rio de Janeiro, v. 30, n. 30, julho 2018. p. 177-198. ISSN 1679- 7604

CUPERSCHMID, A. R. M.; FABRICIO, M. M.; FRANCO, J. C. **HBIM Development of a Brazilian Modern Architecture Icon: Glass House by Lina Bo Bardi**. Heritage v.2. 2019.

DENARD, H. (ed.). **For the computer-based visualisation of cultural heritage**. 2009. Disponível em: <http://www.londoncharter.org>. Acesso em: 24 jan. 2023.

DESVALLÉES, A. Que futuro para os museus e para o patrimônio cultural na aurora do terceiro milênio? In: ENCONTRO APOM, novembro de 2001, Casa da Eletricidade, Funchal. [Conferência]. Tradução de João Carlos Brigola – Universidade de Évora]. Publicada in Lugar em Aberto, **Revista da APOM**, n.1, p. 46-74, out. 2003.

DEZEN-KEMPTER, E.; SOIBELMAN, L.; CHEN, M.; MÜLLER, A.V. Escaneamento 3D a laser, fotogrametria e modelagem da informação da construção para gestão e operação de edificações históricas. **Revista Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 113- 124 , jul./dez. 2015.

DIAS, M. S.; CUPERSCHMID, A. R. M.; SANTIAGO, C. C.; GODOY, M. A.; SKUBS, D.; RIGHETTO, A. V. D.; SILVA, M. L.; OLIVEIRA, H. C. Capela da Fazenda Veneza: análise comparativa da precisão de nuvens de pontos obtidas por diferentes ferramentas e técnicas de Fotogrametria. São Carlos: **Gestão & Tecnologia de Projetos**. v16, n3, 2021. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/174756>. Acesso em: 04 jan. 2023.

DONGZHEN, J.; TOR, Y.K.; ZHENG, Z.; QI, Z. Indoor 3D Modeling and Visualization with a 3D Terrestrial Laser Scanner. In: LEE, J.; ZLATANOVA, S. **3D Geo-Information Sciences**. Heidelberg: Springer, 2009.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: A guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2011.

ENGLISH HERITAGE. **Understanding Historic Buildings: a guide to good recording practice**. Swindon: English Heritage, 2006.

ESTRELA, E. C. L., **Patrimônio em Processo: Restauração do Espaço Comum Luiz Estrela, Projeto de Restauração do Espaço Comum Luiz Estrela**. Belo Horizonte: ECLE, 2015. Disponível em: [https://www.academia.edu/26733171/Projeto\\_de\\_Restaura%C3%A7%C3%A3o\\_Espa%C3%A7o\\_Comum\\_Luiz\\_Estrela](https://www.academia.edu/26733171/Projeto_de_Restaura%C3%A7%C3%A3o_Espa%C3%A7o_Comum_Luiz_Estrela). Acesso em: 24 jan. 2023.

FILHO, Á. L. S.; de OLIVEIRA, L. P.; de OLIVEIRA, A. S.; FABRO, J. A.; WEHRMEISTER, M. A. Navegação e mapeamento simultâneo em um carro autônomo baseado na lógica nebulosa. IN: XII **Congresso Brasileiro de Inteligência Computacional**. 2015. DOI: 10.21528/CBIC2015-041 Disponível em: [https://sbic.org.br/wp-content/uploads/2016/01/cbic2015\\_submission\\_41.pdf](https://sbic.org.br/wp-content/uploads/2016/01/cbic2015_submission_41.pdf) Acesso em: 20 fev. 2023.

FRONER, Y. Patrimônio Arquitetônico: conceitos contemporâneos, políticas públicas e TICs. **Disegnarecon**. v. 5, n. 10, Special Issue - DOCO 2012. p. 87-94.

GROETELAARS, N. J. AMORIM, A. L. de Dense Stereo Matching (DSM): conceitos, processos e ferramentas para criação de nuvens de pontos por fotografias. In: **SIGRADI 2012 – CONGRESO DE LA SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL**, Fortaleza: SIGraDi 2012, Proceedings of the 16th Iberoamerican Congress of Digital Graphics, 2012a. p. 361-365.

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

GROETELAARS, N. J. Um Estudo da Fotogrametria Digital na documentação de formas arquitetônicas e urbanas. (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

GROETELAARS, N. J.; AMORIM, A. L. de. Um panorama sobre o uso de nuvens de pontos para criação de modelos BIM. In: **ARQ.DOC 2012 - SEMINÁRIO NACIONAL: DOCUMENTAÇÃO DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO COM O USO DE TECNOLOGIAS DIGITAIS**, 2., 2012, Belém: LACORE/UFGA, 2012b.

HADDAD, N.A.; AKASHEH, T.S.; LERMA, J.L.; KHRESAT, B.R. Towards a Risk Management and Conservation Plan for the Djin Blocks at the World Heritage Site of Petra, Jordan: The Case of Djin Block n. 9. **Conservation Management of Archaeological Sites**. v.17, 2015. p. 175-191.

HUBER, D. AKINCI, B. As-Is Modeling – Capturing Existing Spatial Conditions Using Laser Scanners. In: **AKIN, Ömer. Embedded Commissioning of Building Systems**. Norwood: Artech House, 2011.

ICOMOS. Conselho Internacional de Monumentos e Sítios. **Carta de Veneza**, 1964. Rio de Janeiro: IPHAN, 2000.

ICOMOS. Conselho Internacional de Monumentos e Sítios. **Carta de Washington, 1986**. Brasília: Ministério da Cultura. IPHAN, 2000. Disponível em:

<http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20de%20Washington%201986.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2021.

ICOMOS. Conselho Internacional de Monumentos e Sítios. **Principles for the recording of monuments, groups of buildings and sites**. Sofia: 11<sup>th</sup> ICOMOS General Assembly. 1996.

ICOMOS. Conselho Internacional de Monumentos e Sítios. **The ICOMOS Charter for the Interpretation and Presentation of Cultural Heritage Sites – The Enane Charter**. 2007. Pretoria: ICOMOS, 2007.

INDOLFO, A. C. Gestão de documentos: uma renovação epistemológica no universo da Arquivologia. **Arquivística.net**. v. 3, n. 2, 2007. p. 28-60. Disponível em: <https://brapci.inf.br/index.php/res/v/50444>. Acesso em: 24 jan. 2021.

IPHAN - Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. **A documentação como ferramenta de preservação da memória**. Brasília: Programa Monumenta. Cadernos Técnicos: 7. 2008 a.

IPHAN - Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. **Cadernos de Pesquisa e Documentação do IPHAN**. Rio de Janeiro: Programa de Gestão Documental do IPHAN, 5. 2008 b.

IPHAN - Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. **Manual de elaboração de projetos de preservação do patrimônio cultural**. Brasília: Programa Monumenta. Cadernos Técnicos: 1. 2005.

IPHAN - Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. **Salvaguarda de bens registrados: patrimônio cultural do Brasil: apoio e fomento**. Brasília: Série Patrimônio Cultural Imaterial: para saber mais, 2. 2017.

JARDIM, J. M. A invenção da memória nos arquivos públicos. Brasília: **Revista Ciência da Informação**, v. 25, n. 2, 1995. Disponível em: <http://revista.ibict.br/ciinf/article/view/659/663>. Acesso em: 24 jan. 2021.

JOUAN, P. HALLOT, P. Digital twin: a HBIM-based methodology to support preventive conservation of historic assets through heritage significance awareness. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v.42, W15. Ávila. 2019.

KARPINSKI, C.; KRESSIN, F.B.; VIEIRA, K.R. Patrimônio digital em discussão na área de Ciência da Informação. Belo Horizonte: **Perspectivas em Ciência da Informação**, v.27, n.1, 2022. p. 27-56.

LE GOFF, J. **História e Memória**. Campinas. Editora da UNICAMP, 2003.

LETELLIER, R. **Recording, Documentation, and Information Management for the Conservation of Heritage Places**: Los Angeles: J. Paul Getty Trust, 2007.

LINHARES, G.; GROETELAARS, N. J. Reconstrução digital do patrimônio arquitetônico para ambientes virtuais interativos 3D: estudo de métodos para modelagem geométrica de edificações existentes. São Carlos: **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v16, n3, 2021.

MURPHY, M.; MCGOVERN, E.; PAVIA, S. Historic building information modelling (HBIM). **Structural Survey**, v. 27 n. 4, 2009. p. 311-327. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/02630800910985108/full/html>. Acesso em: 24 jan. 2021.

NIBS. NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES. **National Building Information Modeling Standard**. Version1 – Part 1: Overview, Principles and Methodologies. Washington: NIBS, 2007.

NOGUEIRA, F.M. de S. **A representação de sítios históricos: documentação arquitetônica digital**. (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.

PAIXÃO, A.G.F.; KAI, B.T. Direito do Patrimônio Cultural na era da informação: Bens Digitais e a Tutela Jurídica. Porto Alegre: **Revista Instituto Histórico e Geográfico do Rio Grande do Sul**, n.157 especial, 2020. p. 209-230.

PEREIRA FILHO, H. F. Documentação. In: REZENDE, Maria Beatriz; GRIECO, Bettina; TEIXEIRA, Luciano; THOMPSON, Analucia (Orgs.). **Dicionário IPHAN de Patrimônio Cultural**. 1. ed. Rio de Janeiro, Brasília: IPHAN/DAF/Copedoc, 2015. (verbete). ISBN 978-85-7334-279-6. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/dicionarioPatrimonioCultural/detalhes/27>. Acesso em: 24 jan. 2021.

PREVITALI, M.; BRUMANA, R.; STANGA, C.; BANFI, F. An Ontology-Based Representation of Vaulted System for HBIM. Basiléia: **Applied Science**, v.10, 1377. 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/4/1377> Acesso em: 14 out. 2022.

RASCÃO, M. da S.R.C. **Aquisição de dados LiDAR com TLS e HMLS para detecção de árvores individuais**. (Mestrado em Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais) - Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2019.

REIS, M.G. dos; SERRES, J.C.P.; NUNES, João Fernando Igansi. Bens culturais digitais: reflexões conceituais a partir do contexto virtual. Florianópolis: **Encontros Bibli**: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação, v. 21, n. 45, jan./abr. 2016. p. 54-69. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/eb/article/view/1518-2924.2016v21n45p54/31197>. Acesso em: 20/01/2023.

RIBEIRO, C.J.M.; RODRIGUES, R.E.F. Melhores Práticas em Gerenciamento de Projetos Cívicos Pelo Uso do Building Information Modeling – BIM. Belo Horizonte: **Exacta**, v. 12, n. 1, Editora UniBH. 2019. p. 1-9.

SAVIANE, B.M. **Levantamento Arquitetônico: prática antiga, disciplina contemporânea**. (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

SIMEONE, D.; CURSI, S.; TOLDO, I.; CARRARA, G. B(H)IM - Built Heritage Information Modelling - Extending BIM approach to historical and archaeological heritage representation. In: **Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe - eCAADe 32**. v.1. Newcastle upon Tyne, England. 2014. p. 613-622.

TANUS, G.F. de S.C.; RENAU, L.V.; ARAÚJO, C.A.Á. O conceito de documento em Arquivologia, Biblioteconomia e Museologia. São Paulo: **Revista Brasileira de Biblioteconomia e Documentação**, v. 8, n. 2, jul./dez. 2012. p. 158-174.

TEPPATI LOSÈ, L.; SPREAFICO, A.; CHIABRANDO, F.; GIULIO TONOLO, F. Apple LiDAR Sensor for 3D Surveying: Tests and Results in the Cultural Heritage Domain. **Remote Sensing**. 14, 4157. 2022.



TOLENTINO, M.M.A. **A utilização do HBIM na documentação, na gestão e na preservação do patrimônio arquitetônico**. Salvador: Universidade Federal da Bahia - UFBA, 2018.

UFRGS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Métodos de pesquisa**. Curso de Graduação Tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

UNESCO. Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. **Recomendação de Paris, 1964**. Tradução Instituto de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. Ministério da Cultura. Brasília: IPHAN, 2000. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Recomendacao%20de%20Paris%201964.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2021.

UNESCO. Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. **Charter on the Preservation of the Digital Heritage**. Paris: Records of the General Conference. 2004.

VACCA, G. 3D Survey with Apple LiDAR Sensor—Test and Assessment for Architectural and Cultural Heritage. **Heritage**. 6, 1476–1501. 2023.

VILELA, J.P.C.M. LOPES, R.F. LIMA, F. Modelagem 3D de edifícios históricos: a influência do LOD no processo de reconstrução virtual. São Carlos. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v16, n3, 2021.

VIZIOLI, S.H.T. ADAMI, A. FREGONESE, L. TAFFURELLI, L. HELDER, J. O Laboratório He.Su.Tech: A Pesquisa Acadêmica Aliada À Prática Aplicada na Documentação, Representação e Preservação do Patrimônio Arquitetônico. In: **Encontro Brasileiro de Modelagem da Informação da Construção e Patrimônio Cultural**. São Carlos: IAU USP, 2019.

ZEVI, B. **Saber ver a arquitetura**. Tradução: Maria Isabel Gaspar, Gaetan Martins de Oliveira. São Paulo: WMF Martins Fontes, 5ªed., 1996.