

Ricardo Cardoso Vicentin

Criação de nuvens de pontos a partir da fotogrametria: análise de sensibilidade

Dissertação de Mestrado

Engenharia de Construção e Reabilitação

Professor Doutor Ricardo Manuel dos Santos F. de Almeida

Professora Doutora Daniela Gutstein



RESUMO

O projeto, no âmbito da construção civil, é de fundamental importância para garantir a qualidade e eficiência da execução de edificações, mas muitas vezes também é necessário para que se possa realizar o acompanhamento de obras já concluídas. Neste último caso, o projeto deve muitas vezes ser executado a partir do edifício já existente para registrar tecnicamente e formalmente eventuais mudanças não documentadas no início. Este método de registro é comumente chamado de “como construído” ou “as-built”.

Neste trabalho aborda-se um estudo de caso utilizando a fotogrametria digital para a criação de modelos de nuvens de pontos, buscando definir o melhor método executivo. A metodologia utilizada consiste em registrar imagens do ambiente desejado e transformá-las, a partir de um software computacional, em um modelo tridimensional, neste caso, em nuvens de pontos. As nuvens de pontos são criadas a partir dos softwares Autodesk Recap e Recap Photo.

Na fase de planejamento, foram estudados a partir da revisão bibliográfica os procedimentos de aplicação da fotogrametria digital. Já na fase de execução do ensaio, foram feitos dois casos de estudo separados em nove tomadas de fotografias para cada um deles (variando-se a câmera fotográfica, quantidade de fotografias por ensaio e a incidência de luz) e mais um caso adicional com tomada de fotografias aéreas.

Após a obtenção de todas as imagens necessárias para o desenvolvimento das nuvens de pontos, as fotografias foram inseridas no software Recap Photo, que realiza a criação do modelo tridimensional e possibilita sua exportação no formato de nuvem de pontos. A nuvem de pontos é então importada pelo Autodesk Recap para ser trabalhada na eliminação de áreas indesejadas e diminuição do ruído, refinando o resultado do modelo.

Com os dezenove modelos criados, foi feita então a comparação entre eles, a partir da qualidade de detalhes de pontos específicos e da distorção da medida obtida no modelo digital em relação à medida real.

De forma resumida, o trabalho busca identificar o melhor procedimento de tomada de fotografias e alinha-lo com as condições ideais de ensaio. Como resultado, foi possível concluir que a qualidade da nuvem de pontos não está ligada somente à quantidade de fotografias utilizadas, mas também ao registro de diferentes ângulos e sobreposição das imagens, iluminação, qualidade do sensor fotográfico e da lente utilizada.

PALAVRAS CHAVE

Fotogrametria
Nuvem de pontos
Análise de sensibilidade

ABSTRACT

The project, in the context of civil construction, is of fundamental importance to ensure the quality and efficiency of the construction of buildings, but it is often also necessary to monitor already completed works. In the latter case, the project must often be executed from the existing building to technically and formally record any changes not documented at the beginning. This method of registration is commonly referred to as “as-built”.

This work addresses a case study using digital photogrammetry to create point cloud models, seeking to define the best executive method. The methodology used consists of recording images of the desired environment and transforming them, using computer software, into a three-dimensional model, in this case, in point clouds. Point clouds are then created using Autodesk Recap and Recap Photo software.

In the planning phase, the procedures for applying digital photogrammetry are studied from the literature review. In the execution phase of the test, two separate case studies were made in nine photo shots for each of them (varying the camera, number of photos per test and the incidence of light) and one additional case with shot of aerial photos.

After obtaining the necessary number of photos for the development of the point clouds, the photos were inserted into the Recap Photo software, which creates the three-dimensional model and enables its export in the point cloud format. The point cloud is then imported by Autodesk Recap to be worked on eliminating unwanted areas and noise reduction, refining the model result.

With the nineteen models created, a comparison was then made between them, based on the quality of details of specific points and the distortion of the measurement obtained in the digital model in relation to the real measurement.

In short, the work seeks to identify the best photo-taking procedure and align it with the ideal test conditions. As a result, it was possible to conclude that the quality of the point cloud is not only linked to the amount of photos used, but also to the recording of different angles and image overlapping, lighting, quality of the photographic sensor and the lens used.

KEY-WORDS

Photogrammetry
Point cloud
Sensitivity analysis

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente aos meus pais, Claudio Nelson Vicentin e Vania Cristina Cardoso e aos meus irmãos, Maíra Sterque Vicentin, Fernanda Sterque Vicentin, Marcelo Cardoso Vicentin, Rafael Cardoso Vicentin e Eduardo Cardoso Vicentin, por todos os ensinamentos e pelo apoio incondicional durante toda a minha vida.

Agradeço ao meu orientador, Professor Doutor Ricardo Manuel dos Santos Ferreira de Almeida, por todo o incentivo e apoio, além das dicas, direcionamento e ensinamentos durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

À minha coorientadora, professora Doutora Daniela Gutstein, pelo direcionamento teórico e complementação dos conhecimentos necessários para execução do trabalho.

À minha namorada Gabrielle Aló e sua família, que me incentivou e esteve sempre ao meu lado mesmo com as dificuldades encontradas, além de fornecer parte do equipamento utilizado ao longo do trabalho.

Ao meu querido amigo Daniel Toloto pela disponibilização e ajuda com o uso do drone.

E por último, mas não menos importantes, aos meus colegas de Viseu, Portugal que sempre me incentivaram e participaram do período de intercambio que me proporcionou a chance de produzir este trabalho.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento geral	1
1.2 Objetivo do trabalho.....	2
1.3 Organização e estrutura do trabalho.....	2
2. Revisão bibliográfica	4
2.1 Fotogrametria	4
2.1.1 Introdução à fotogrametria	4
2.1.2 Funcionamento da fotogrametria.....	5
2.2 Modelação	11
2.2.1 Nuvem de pontos	11
2.2.2 Autodesk ReCap Photo e ReCap Pro	13
3. Metodologia e Casos De Estudo	14
3.1 Enquadramento	14
3.2 Equipamento	14
3.2.1 Câmera 1	14
3.2.2 Câmera 2.....	15
3.2.3 Câmera 3.....	16
3.2.4 Drone	18
3.3 Casos de estudo	19
3.3.1 Localização e características do edifício	19
3.3.2 Caso 1: Exterior.....	20
3.3.3 Caso 2: Interior.....	20
3.3.4 Caso 3: Cobertura	21
3.4 Plano de ensaio.....	22
3.4.1 Exterior	22
3.4.2 Interior	23

3.4.3	Cobertura.....	24
3.5	Procedimentos.....	24
3.5.1	Processamento de imagem.....	24
3.5.2	Importação e classificação	24
3.5.3	Autodesk ReCap Photo	26
3.5.4	Autodesk ReCap Pro	28
3.6	Comparação	28
3.6.1	Exterior.....	28
3.6.2	Interior.....	30
4.	Resultados.....	32
4.1	Considerações iniciais	32
4.2	Modelo externo	32
4.2.1	Caso E.1: Sony Cyber-shot DSC-W330	33
4.2.2	Caso E.2: Apple iPhone 11 Pro Max	38
4.2.3	Caso E.3: Canon EOS Rebel T6	44
4.2.4	Síntese	49
4.3	Caso A.1: Tomada aérea.....	51
4.4	Modelo Interno	54
4.4.1	Caso I.1: Sony Cyber-shot DSC-W330	54
4.4.2	Caso I.2: Apple iPhone 11 Pro Max	61
4.4.3	Caso I.3: Canon EOS Rebel T6	68
4.4.4	Síntese	74
4.5	Proposta de metodologia de ensaio.....	77
5.	Conclusões.....	80
5.1	Conclusões gerais	80
5.2	Proposta de desenvolvimento futuro	81
6.	Referências	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de métodos de sobreposição de imagens na fotogrametria	6
Figura 2 – Método 3x3 de obtenção de imagens. Fonte: GMV – CAST (2011).....	7
Figura 3 – Workflow de processo de fotogrametria.	8
Figura 4 – Fotogrametria aérea. Fonte: GeoSensori	9
Figura 5 – Exemplo para mapa de voo para fotogrametria. Fonte: Octocam-maps	9
Figura 6 - Mapeamento pelo processo aerofotogramétrico (Extraído de Tommaselli, 2009). 10	
Figura 7 – Exemplo de nuvem de pontos. Retirado de Autodesk ReCap.....	11
Figura 8 – Etapas de geração de nuvem de pontos (Adaptado de Pollefeys, 2002).	12
Figura 9 – Exemplo de modelo tridimensional produzido no Autodesk Recap Photo (elaborado pelo autor).	13
Figura 10 – Sony Cyber-shot DSC-W330	15
Figura 11 – Apple iPhone 11 Pro Max. Fonte: Apple	16
Figura 12 – Canon EOS Rebel T6. Fonte: Canon Brasil	17
Figura 13 – Lente Canon utilizada. Fonte: Canon Brasil.....	17
Figura 14 – Drone R’Bird Blackmaster. Fonte: Fnac	18
Figura 15 – GoPro Hero 5. Fonte: Fnac.....	18
Figura 16 – Alçada principal da residência.....	19
Figura 17 – Localização dos pontos de captura das fotografias	20
Figura 18 – Objeto de estudo interno: sala de estar	21
Figura 19 – Planejamento do trajeto percorrido no ensaio exterior, conforme método linear de captura.....	22
Figura 20 – Plano de ensaio para os casos de estudo.....	25
Figura 21 – Interface do programa ReCap Photo: criação de novo modelo.	26
Figura 22 – Botão para carregar um modelo ou abrir um modelo recente	27
Figura 23 – Medida base para configuração de escala.....	29
Figura 24 – Medida cobertura superior esquerda.....	29
Figura 25 – Medida cobertura inferior direita.....	30
Figura 26 – Acessórios da parede	30
Figura 27 – Árvore de Natal	31

Figura 28 – Mesa de centro	31
Figura 29 – Caso E.1.1: Sony Cyber-shot DSC-W330 com 25 fotografias	33
Figura 30 – Detalhe da cobertura E.1.1: distorção de linhas.....	33
Figura 31 – Medida da cobertura superior esquerda do caso E.1.1	34
Figura 32 – Medida da cobertura inferior direita do caso E.1.1	34
Figura 33 - Caso E.1.2: Sony Cyber-shot DSC-W330 com 50 fotografias.....	35
Figura 34 – Detalhe do alçado principal: melhoria de alguns elementos do edifício.....	35
Figura 35 – Medida cobertura superior esquerda do caso E.1.2.....	36
Figura 36 – Medida da cobertura inferior direita do caso E.1.2.....	36
Figura 37 - Caso E.1.3: Sony Cyber-shot DSC-W330 com 75 fotografias.....	37
Figura 38 – Detalhe da cobertura caso E.1.3	37
Figura 39 – Medida da cobertura superior esquerda do caso E.1.3	38
Figura 40 – Medida da cobertura inferior direita do caso E.1.3.....	38
Figura 41 – Caso E.2.1: Apple iPhone 11 Pro Max com 25 fotografias	39
Figura 42 - Detalhe da cobertura E.2.1: distorção de linhas.....	39
Figura 43 – Medida da cobertura superior esquerda do caso E.2.1	40
Figura 44 – Medida da cobertura inferior direita do caso E.2.1	40
Figura 45 – Caso E.2.2: Apple iPhone 11 Pro Max com 50 fotografias	41
Figura 46 – Medida da cobertura superior esquerda do caso E.2.2.....	41
Figura 47 – Medida da cobertura inferior direita do caso E.2.2.....	42
Figura 48 – Caso E.2.3: Apple iPhone 11 Pro Max com 75 fotografias	42
Figura 49 – Qualidade nos detalhes do caso E.2.3	43
Figura 50 – Medida da cobertura superior esquerda do caso E.2.3.....	43
Figura 51 – Medida da cobertura inferior direita do caso E.2.3	44
Figura 52 – Caso E.3.1: Canon EOS Rebel T6 com 25 fotografias	45
Figura 53 – Vista superior do caso E.3.1	45
Figura 54 – Medida da cobertura inferior direita do caso E.3.1	46
Figura 55 – Caso E.3.2: Canon EOS Rebel T6 com 50 fotografias	46
Figura 56 – Vista superior do caso E.3.2.....	47
Figura 57 – Medida da cobertura inferior direita do caso E.3.2.....	47
Figura 58 – Caso E.3.3: Canon EOS Rebel T6 com 75 fotografias	48

Figura 59 – Vista superior caso E.3.3	48
Figura 60 – Medida da cobertura superior esquerda do caso E.3.3	49
Figura 61 – Medida da cobertura inferior direita do caso E.3.3	49
Figura 62 – Matriz de comparação de resultados - Caso externo	50
Figura 63 – Caso A.1: Vista da cobertura.....	52
Figura 64 – Medida de calibração do caso A.1: cobertura superior esquerda	52
Figura 65 – Medida obtida no local: cobertura intermédia do lado direito.....	53
Figura 66 – Medida obtida no Autodesk ReCap Pro: cobertura intermédia do lado direito....	53
Figura 67 – Nuvem de pontos do caso I.1.1	54
Figura 68 – Acessórios da parede para o caso I.1.1	55
Figura 69 – Árvore de natal para o caso I.1.1	55
Figura 70 – Mesa de centro para o caso I.1.1	56
Figura 71 – Nuvem de pontos do caso I.1.2	57
Figura 72 – Acessórios da parede para o caso I.1.2.....	57
Figura 73 – Árvore de natal para o caso I.1.2.....	58
Figura 74 – Mesa de centro para o caso I.1.2	58
Figura 75 – Nuvem de pontos do caso I.1.3	59
Figura 76 – Acessórios da parede para o caso I.1.3.....	59
Figura 77 – Árvore de natal para o caso I.1.3	60
Figura 78 – Mesa de centro para o caso I.1.3	61
Figura 79 – Nuvem de pontos do caso I.2.1	61
Figura 80 – Acessórios da parede para o caso I.2.1	62
Figura 81 – Árvore de natal para o caso I.2.1	62
Figura 82 – Mesa de centro para o caso I.2.1	63
Figura 83 – Nuvem de pontos para o caso I.2.2.....	64
Figura 84 – Acessórios da parede para o caso I.2.2.....	64
Figura 85 – Árvore de natal para o caso I.2.2.....	65
Figura 86 – Mesa de centro para o caso I.2.2	65
Figura 87 – Nuvem de pontos para o caso I.2.3.....	66
Figura 88 – Acessórios da parede para o caso I.2.3.....	66
Figura 89 – Árvore de natal para o caso I.2.3	67

Figura 90 – Mesa de centro para o caso I.2.3	67
Figura 91 – Nuvem de pontos para o caso I.3.1	68
Figura 92 – Acessórios da parede para o caso I.3.1	68
Figura 93 – Árvore de natal para o caso I.3.1.....	69
Figura 94 – Mesa da centro para o caso I.3.1	70
Figura 95 – Nuvem de pontos para o caso I.3.2	70
Figura 96 – Acessórios da parede para o caso I.3.2	71
Figura 97 – Árvore de natal para o caso I.3.2.....	71
Figura 98 – Mesa de centro para o caso I.3.2	72
Figura 99 – Nuvem de pontos para o caso I.3.3	72
Figura 100 – Acessórios da parede para o caso I.3.3	73
Figura 101 – Árvore de natal para o caso I.3.3.....	73
Figura 102 – Mesa de centro para o caso I.3.3	74
Figura 103 – Matriz de comparação de resultados - Caso interno	74

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações técnicas Sony DSC-W330.....	15
Tabela 2 – Especificações câmera iPhone 11 Pro Max	16
Tabela 3 – Especificações Técnicas EOS Rebel T6	18
Tabela 4 – Especificações GoPro Hero 5.....	19

1. Introdução

1.1 Enquadramento geral

A crescente utilização de novas tecnologias na engenharia civil é uma oportunidade única para alavancar a qualidade das edificações e planeamento por parte dos engenheiros e empreiteiros. Planejar uma obra com eficiência significa prever as ações e recursos necessários ao longo do tempo, buscando sempre otimizar o tempo de execução com o orçamento disponível. Neste contexto, o uso de programas de computador que auxiliam a gestão e interpretação de dados é cada vez mais corrente.

Documentar obras e edifícios existentes sempre foi uma necessidade da construção civil, e com a melhoria da tecnologia esta tarefa se tornou muito mais simples. O processo antes manual, evoluiu para o registro de informações digitais em softwares do tipo CAD e mais adiante foram criados os programas de aplicação dos princípios da fotogrametria, que é a medição ou registro de informações através do uso de fotografias. Isso significa que é possível gerar um modelo tridimensional de edificações existentes a partir de fotografias tiradas do local.

Os modelos tridimensionais gerados têm diversos formatos, como por exemplo malhas de triângulos e nuvem de pontos, e podem ser usados principalmente para documentação dos projetos existentes, que sofreram alterações ao longo do tempo ou de edificações sem projeto. A fotogrametria tem como objetivo facilitar a documentação destes edifícios e atuar nos projetos e manutenção dos mesmos.

O programa computacional Autodesk ReCap é uma ferramenta que permite compilar as informações das fotografias tiradas num determinado ambiente, interpretá-las matematicamente e criar então um modelo tridimensional da estrutura desejada num formato de nuvem de pontos.

1- Introdução

As nuvens de pontos podem então ser utilizadas como base para a criação de modelos tridimensionais dos edifícios, utilizando-se ferramentas como, por exemplo, o Autodesk Revit.

1.2 Objetivo do trabalho

Este trabalho acadêmico teve como objetivo principal realizar uma análise de sensibilidade da técnica da fotogrametria digital para um edifício residencial, a partir da criação e comparação de nuvens de pontos. Para isso foram definidos alguns objetivos intermediários, sendo eles:

- Definir a partir da revisão bibliográfica qual o melhor método de ensaio e planejar a aplicação do mesmo.
- Realizar os ensaios para os diferentes casos de estudo abordados.
- Criar os modelos 3D com o uso dos softwares Autodesk Recap e Recap Photo.
- Comparar os modelos obtidos com base na resolução dos detalhes da nuvem de pontos e a medida obtida no software em relação à real.
- Levantar as melhores práticas e propor pontos de evolução para o método.
- Apresentar percepções e comentários do autor sobre as dificuldades do desenvolvimento do método e dicas para uma boa execução de ensaios.

1.3 Organização e estrutura do trabalho

Este trabalho está organizado em 5 capítulos distintos:

- No capítulo 1 foi apresentada a introdução do trabalho desenvolvido, mostrando o seu enquadramento geral e os seus objetivos.
- No capítulo 2 descreveu-se de maneira aprofundada o que é a fotogrametria e quais as suas aplicações práticas dentro do contexto da construção civil. Também foram mostrados os métodos mais utilizados e os meios de aplicação.
- No capítulo 3 foram apresentados os métodos utilizados para as aplicações práticas do estudo da fotogrametria, dividindo-as em três partes. A primeira parte detalhou os equipamentos a serem utilizados no estudo, com suas especificações técnicas e características individuais. Na segunda parte foram detalhados os planos de ação para o ambiente externo e interno da aplicação do método. Já na última parte foram apresentados os procedimentos necessários para utilização dos softwares de criação de modelos 3D do estudo.
- No capítulo 4 é possível observar uma série de casos de estudo e seus respectivos resultados, além da análise de sensibilidade proposta como objetivo principal do estudo. Também foi proposto neste capítulo hipóteses sobre a correta execução do método e o quais os fatores que mais afetam o resultado obtido.

- No capítulo 5 foram apresentadas as conclusões sobre o estudo e o método, a partir dos resultados obtidos anteriormente, assim como algumas considerações para realização de eventuais trabalhos futuros.

2. Revisão bibliográfica

2.1 Fotogrametria

2.1.1 Introdução à fotogrametria

O levantamento e registro de edifícios existentes é um processo de engenharia reversa que, a partir das informações obtidas do objeto real, documenta todas as características que se desejam adicionar ao seu projeto.

O termo fotogrametria deriva das palavras gregas *phos* ou *phot*, que significa luz, *gramma*, que significa algo desenhado ou escrito e *metron*, que significa "medir" (Schenk, 2005).

Segundo a Sociedade Americana de Fotogrametria (ASP) a definição de fotogrametria até a década de 60 era: "ciência e arte de obter medidas confiáveis por meio de fotografias". De acordo com Tommaselli (2009) com o surgimento de novos tipos de sensores uma definição mais abrangente de fotogrametria foi proposta também pela ASP em 1979, como sendo: "fotogrametria é a arte, ciência e tecnologia de obtenção de informação confiável sobre objetos físicos e o meio ambiente através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética radiante e outras fontes" (ASP, 1979 apud Tommaselli, 2009).

Para o desenvolver deste estudo foi preciso entender como funciona o processo de criação do modelo a partir da imagem. As técnicas de modelação baseadas na fotogrametria consistem no uso de diferentes imagens de um objeto ou local, para criação de uma malha ou nuvem de pontos tridimensionais (3D). Essas imagens podem ser obtidas por uma câmera fotográfica digital comum, que apresentam sensores de captura cada vez mais modernos e com preço

acessível, sendo depois inseridas no software que interpreta os dados e relaciona os diferentes pontos do objeto uns com os outros, criando uma visualização tridimensional.

Conforme afirma Tommaselli (2009), originalmente a fotogrametria era restrita à análise de fotografias apenas a caráter métrico: os estudos referiam-se apenas a dados quantitativos, como coordenadas, áreas etc. Com a evolução da tecnologia o conceito teve que ser dividido em mais uma vertente, a fotointerpretação. A fotointerpretação consiste em obter dados qualitativos a partir da análise das fotografias e imagens aéreas, abrindo um leque de novas possibilidades de estudo na área.

Nos últimos anos, o uso de tecnologias de digitalização 3D de informação espacial de edifícios, a fotogrametria, se popularizou por gerar uma quantidade enorme de dados quando comparado a outros instrumentos de levantamento. Em virtude do curto espaço de tempo e do acesso a locais limitados, as tecnologias de fotogrametria são cada vez mais utilizadas para levantamento de informações sobre edificações, sempre de acordo com a necessidade técnica e grau de detalhes exigidos.

Para se trabalhar com dados a partir de imagens, é necessária uma formulação matemática que permita transformar as medições feitas no espaço bidimensional (2D) para o tridimensional. Naturalmente, são necessárias pelo menos duas imagens e os dados 3D são derivados usando a perspectiva e profundidade ou formulações de geometria projetiva. Dentre as técnicas de modelação para edifícios existentes, a fotogrametria é preferida no caso de objetos mais simples, com geometrias regulares. A acessibilidade ao método vem crescendo continuamente, o que deve incentivar o desenvolvimento de ferramentas mais avançadas de captura de realidade ao longo dos anos.

De acordo com Remondino (2011) a fotogrametria é considerada a melhor técnica para processamento de dados em imagem, sendo capaz de fornecer para qualquer aplicação desejada informações 3D precisas, com dados métricos e detalhados, com estimativas de precisão e o nível de confiabilidade do modelo. Também segundo o autor, a fotogrametria encontra seus principais campos de aplicação na cartografia e mapeamento, seguido por documentação de patrimônios culturais, engenharia reversa, monitoramento e análise de deformação de estruturas, planejamento urbano e outros.

2.1.2 Funcionamento da fotogrametria

2.1.2.1 Fotogrametria digital

Segundo o Centro de Tecnologias Espaciais Avançadas (CAST, 2012) da Universidade do Arkansas, Estados Unidos: “A fotogrametria digital é uma técnica bem estabelecida para a aquisição de informações geométricas 3D densas para objetos do mundo real a partir de sobreposições de imagens estereoscópicas e demonstrou ter aplicações extensivas em vários campos”.

2- Revisão bibliográfica

A fotogrametria digital ou fotogrametria de curto alcance, consiste na obtenção de imagens no plano terrestre, buscando explicitar todas ou pelo menos as principais características a serem evidenciadas pela modelação 3D a ser criada pelas imagens. O uso da fotogrametria digital é uma maneira acessível de criar modelos tridimensionais de edifícios existentes, pois não necessita do uso de equipamentos relativamente caros e/ou de difícil acesso.

Na grande maioria dos casos, o uso de apenas uma fotografia do objeto de estudo não é o suficiente para a interpretação geométrica do local. Neste sentido, é indicado o uso de um grande número de imagens para geração de um modelo fidedigno do real e com maior quantidade de detalhes. A grande quantidade de imagens garante que todos os detalhes do objeto sejam registrados e sobrepostos, algo essencial para a modelação 3D de edifícios existentes.

Além do número de imagens necessárias para uma boa modelação, o método deve ser escolhido corretamente, como se pode ver na Figura 1. Dependendo do objeto estudado, existe a opção de método convergente e método linear.

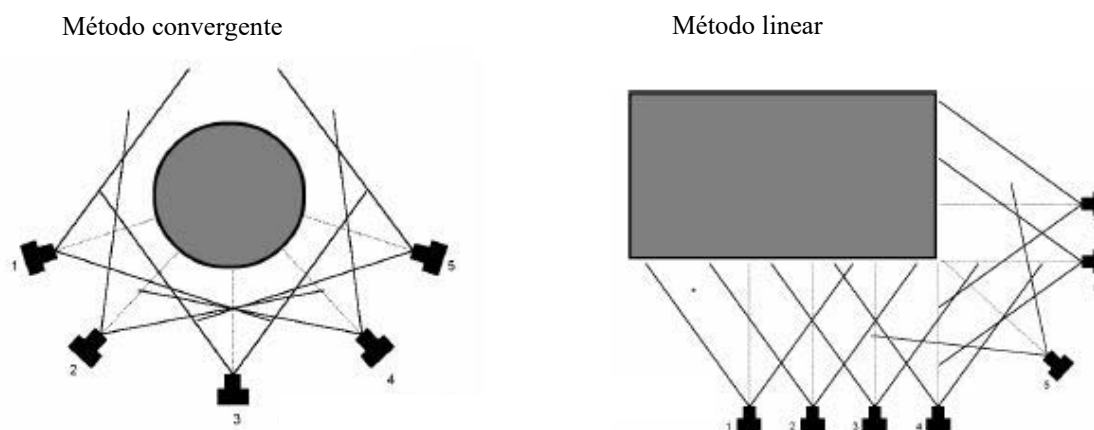


Figura 1 – Exemplo de métodos de sobreposição de imagens na fotogrametria.

A imagem digital é uma matriz composta por células quadradas, chamadas pixels (*picture elements*). Dentro de cada pixel, há somente uma coloração sólida, definida por um número digital com uma determinada coloração associada a ele. Seu uso na geração de modelos tridimensionais é limitado a alguns fatores técnicos, como a ausência de informação métrica nos modelos mais comuns de câmeras, neste caso, compensada pela grande quantidade de informação RGB (sigla em inglês para red, green e blue, no português, vermelho, verde e azul) e sobre a textura do local.

Para a aplicação de fotogrametria terrestre (ou digital), o uso de câmeras e sensores mais simples vem se tornando cada vez mais acessível. O pós-processamento de dados no computador permite que seja atribuído a um segmento de reta o seu tamanho original, onde a partir dessa informação, todo o projeto passa a ter uma escala condizente com a real.

De acordo com o CAST (2011) um dos métodos mais efetivos para obtenção de imagens para um projeto de fotogrametria é o método 3x3, conforme indica a Figura 2 a seguir:

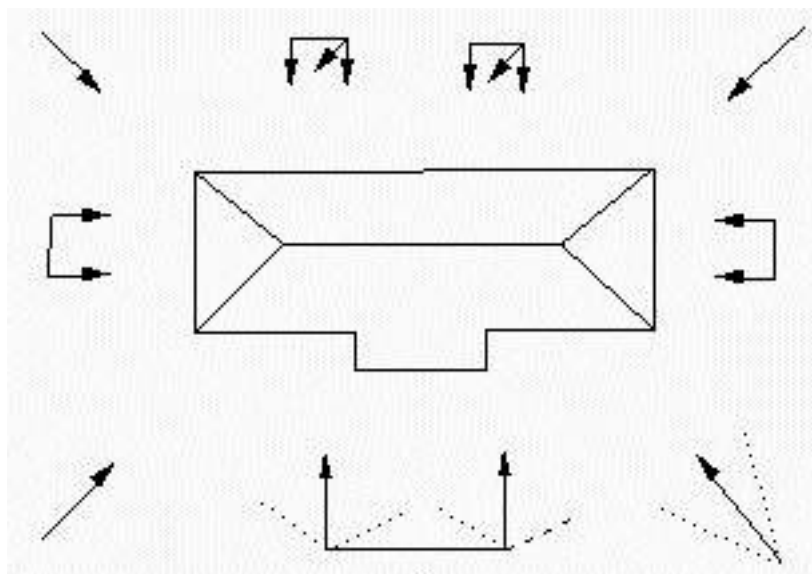


Figura 2 – Método 3x3 de obtenção de imagens. Fonte: GMV – CAST (2011)

A correlação entre imagens acontece apenas quando o objeto fotografado contém superfície suficientemente não uniforme, garantindo que alguns pontos singulares possam ser identificados e sobrepostos pelo programa utilizado. Além disso a qualidade das imagens deve ser compatível com a precisão desejada pelo levantamento.

Na Figura 3 a seguir apresenta-se o *workflow* para criação de uma nuvem de pontos a partir do processo de fotogrametria.

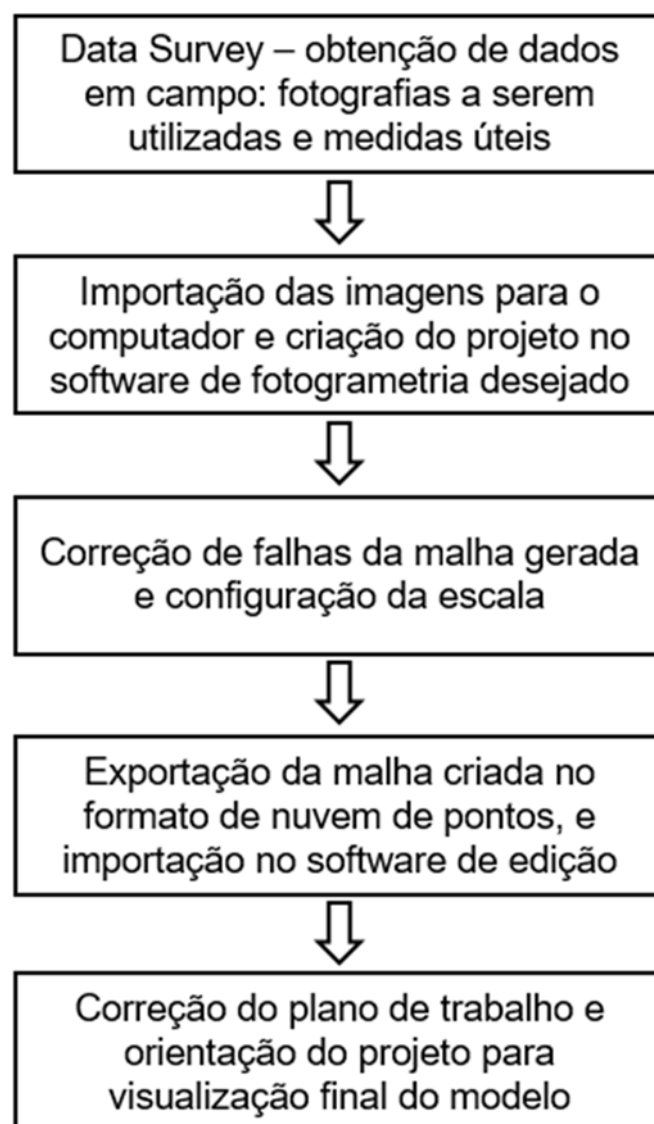


Figura 3 – Workflow de processo de fotogrametria.

2.1.2.2 Fotogrametria aérea

A fotogrametria aérea é, essencialmente, a obtenção de imagens a partir de uma câmera de precisão montada numa aeronave. Nos dias de hoje, é muito comum encontrar o uso de drones não tripulados para a obtenção das imagens aéreas, como mostrado na Figura 4. Com o desenvolvimento da tecnologia, já é possível programar o trajeto a ser percorrido pelo drone, que vai realizando ajustes gráficos e disparos de fotografias de maneira automática.



Figura 4 – Fotogrametria aérea. Fonte: GeoSensori.

A triangulação aérea é uma aplicação muito bem-sucedida da fotogrametria, a qual gera uma nuvem de pontos que pode ser associada a um objeto 3D com grande precisão. A partir da nuvem de pontos é possível identificar os pontos comuns fotografados, e assim, criar a sobreposição de imagens para garantir que toda a área desejada faça parte do modelo tridimensional criado.

A fotogrametria aérea deve ser planejada de maneira com que toda a área de estudo esteja inserida no plano de vôo do drone ou aeronave. Para garantir isto, o modelo mais utilizado atualmente é o mapa de vôo em grelha, conforme ilustrado na Figura 5. Dependendo da qualidade de projeto necessária, o drone pode voar mais próximo ou mais distante do chão e também diminuir a distância entre duas linhas de voo paralelas, garantindo maior sobreposição de imagens.

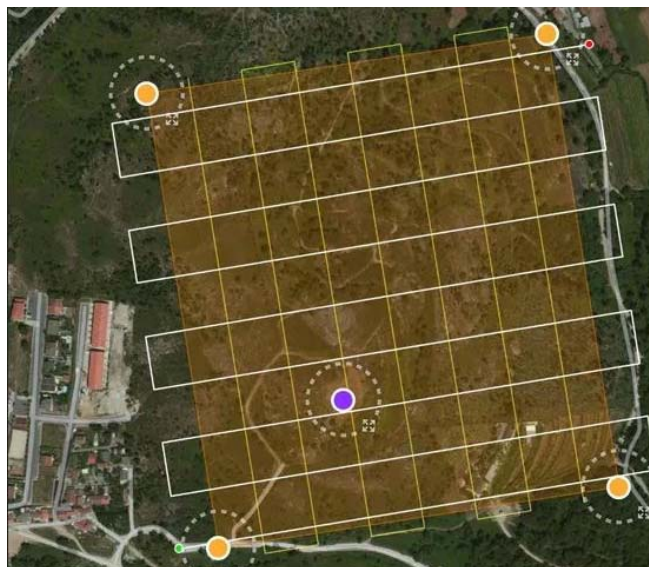


Figura 5 – Mapa de vôo em grelha para fotogrametria. Fonte: Octocam-maps.

2- Revisão bibliográfica

Segundo Ray (1963) a fotografia aérea é um registro instantâneo dos detalhes do terreno, que se determina principalmente pela distância focal da lente da câmara, pela altura de vôo do avião no momento da exposição e pelo filme e filtros usados. Além disso, depende do método de captura utilizado; pode ser uma fotografia vertical, quando é tirada com o eixo da câmara apontado diretamente para baixo, ou uma fotografia oblíqua, tirada com o eixo da câmara propositalmente inclinado em relação à vertical do plano.

De acordo com Temba (2000), os fatores que afetam a imagem fotográfica podem ser divididos em dois grupos: os que são influenciados pelo ser humano, como a distância focal da lente, altura de vôo, combinações de filmes, filtros aplicados e o ângulo da lente e os que são influenciados pela ação da natureza, como por exemplo a cor dos objetos fotografados, a posição de um objeto em relação ao ângulo de incidência do sol, bruma atmosférica e outros.

A Figura 6 apresenta o *workflow* do processo de criação de um modelo tridimensional a partir da fotogrametria aérea. Criado por Tommaselli (2009), este mapeamento de processos busca indicar a maneira correta de se realizar um levantamento fotogramétrico aéreo, para que o resultado a ser obtido seja o melhor possível.

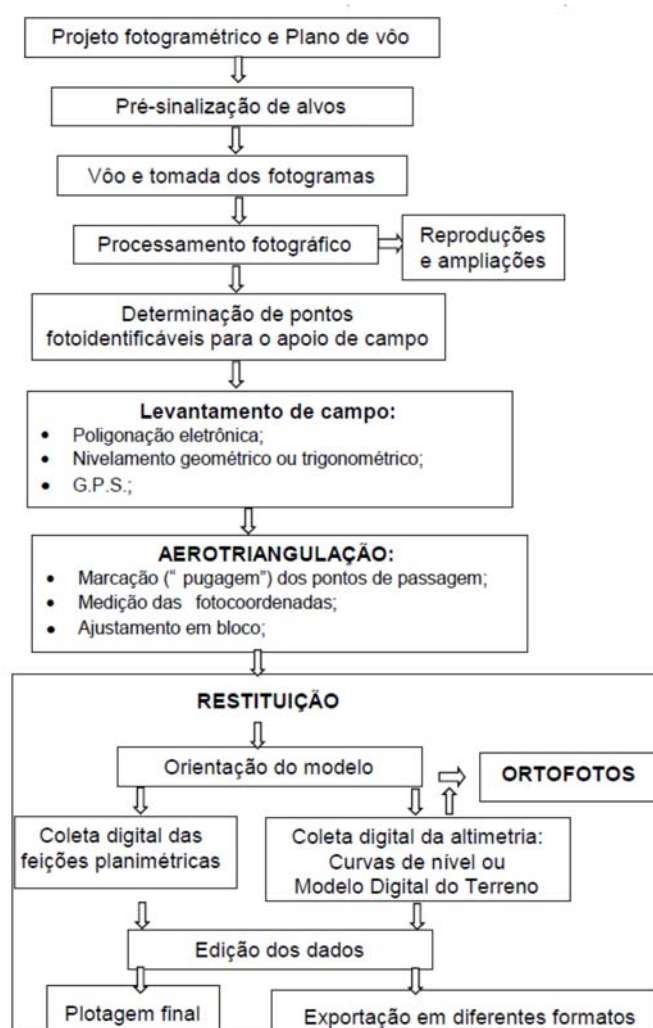


Figura 6 – Mapeamento pelo processo aerofotogramétrico. Fonte: Tommaselli (2009).

2.2 Modelação

2.2.1 Nuvem de pontos

A nuvem de pontos é um conjunto de pontos expresso em um sistema de coordenadas X, Y e Z, que representa uma superfície ou objeto 3D.

As nuvens de pontos são criadas a partir do registro de imagens com informações métricas, tanto por scanners 3D quanto por processos de fotogrametria. Na Figura 7 apresenta-se um exemplo de nuvem de pontos visualizada no software Autodesk Recap.

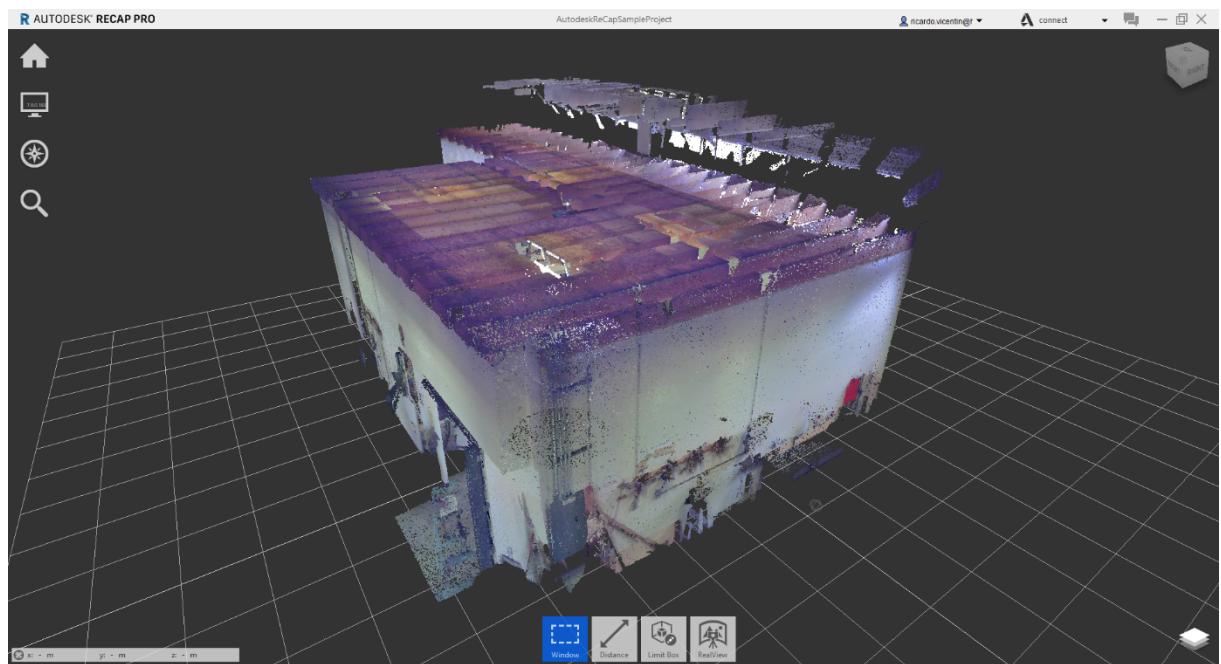


Figura 7 – Exemplo de nuvem de pontos. Retirado de Autodesk ReCap

Segundo Müller (2015), uma nuvem de pontos é um conjunto de dados de pontos dispostos em um sistema de coordenadas tridimensionais que contém um ou mais canais de informações (iluminação, oclusão, área, intensidade etc.) de cada ponto.

O processo de criação de uma nuvem de pontos baseado na fotogrametria inclui as seguintes etapas: (1) registro do objeto por meio de fotografias; (2) transferência das imagens para o computador, garantindo que não seja prejudicada a sua qualidade; (3) importação das imagens para o software de criação de nuvem de pontos desejado; (4) configuração de parâmetros desejados; (5) criação do modelo geométrico na forma de nuvem de pontos.

Essa nuvem de pontos pode ser utilizada para geração de um modelo, através de diferentes métodos, que variam desde a criação de malhas até à modelagem de geometrias usando os pontos como referenciais. As nuvens de pontos suportam o processo de projeto fornecendo contexto do mundo real possibilitando a recriação do objeto referenciado ou a inserção de modelos adicionais (Autodesk, 2015).

2- Revisão bibliográfica

Como o modelo no sistema de nuvem de pontos apresenta limitações, a interpretação do mesmo deve ser feita com o uso de outros softwares para a obtenção da informação desejada. A nuvem de pontos apenas representa as superfícies do objeto digitalizado, sendo assim, as demais características como tipo de material utilizado, composição interna, dimensões, informações paramétricas e outras, devem ser inseridas pelo próprio utilizador do método, de preferência com o auxílio das fotografias e informações obtidas em campo.

De maneira sucinta, o processo de criação digital de uma nuvem de pontos pode ser descrito a partir das etapas apresentadas na Figura 8.

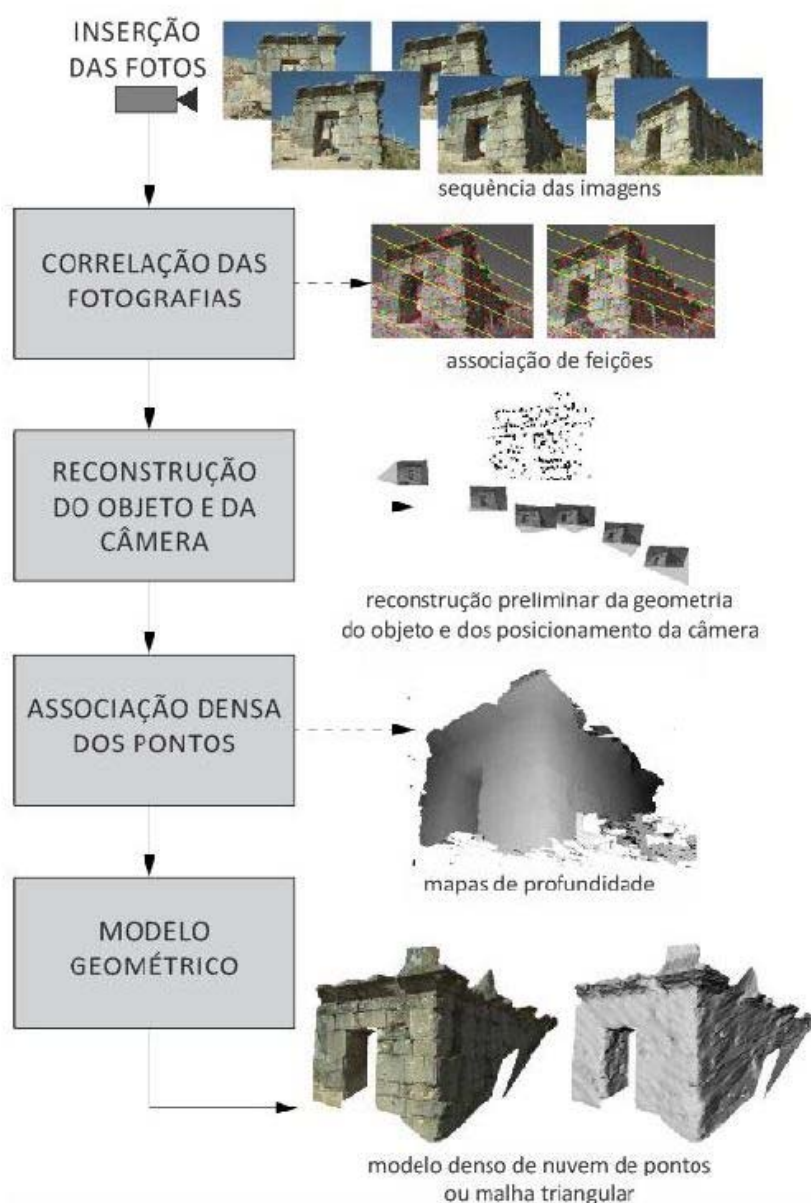


Figura 8 – Etapas de geração de nuvem de pontos. Adaptado de Pollefeys (2002).

Após a criação da nuvem de pontos é possível realizar alguns ajustes na superfície, através da utilização de software específico. O Autodesk ReCap disponibiliza algumas funções básicas e

automáticas, como preenchimento de vazios, eliminação de partículas desconexas e suavização da malha. Todas as funções têm um filtro para ajuste de sensibilidade da ferramenta, o que limita ou expande a quantidade de interferências no projeto.

Outra ferramenta que deve ser usada nesta fase do projeto é a correção de escala do objeto e alinhamento dos planos X, Y e Z, o que é indispensável para posterior importação e compatibilização do arquivo.

2.2.2 Autodesk ReCap Photo e ReCap Pro

O ReCap Photo é um aplicativo de desktop que utiliza o serviço na nuvem, de Photo-to-3D disponibilizado pela Autodesk. A adição do ReCap Photo expande as possibilidades do ReCap Pro com recursos para suportar fluxos de trabalho de captura de fotografias tiradas com drones. Com o ReCap Photo, podem ser criadas malhas texturizadas baseadas em fotografias com geolocalização e visualizações ortográficas de alta resolução com mapas de elevação.

A partir da importação de imagens, o *software* gera um modelo 3D baseado em triangulações, como o exemplo indicado na Figura 9.



Figura 9 – Exemplo de modelo tridimensional produzido no Autodesk Recap Photo
(elaborado pelo autor).

Após a criação da malha texturizada no Recap Photo, é necessário fazer a importação deste arquivo para o Recap Pro. O Recap Pro é o *software* utilizado para conversão de malhas para nuvem de pontos, abrindo a possibilidade de combinar vários arquivos num único projeto e edição do modelo gerado.

3. Metodologia e Casos De Estudo

3.1 Enquadramento

De acordo com as obras apresentadas na revisão bibliográfica, foi traçado um plano de execução do projeto de fotogrametria, buscando-se abordar diferentes estratégias de captura de imagem para posterior comparação dos resultados obtidos.

A metodologia ocorreu em duas abordagens distintas: a geração de nuvens de pontos do exterior do edifício de estudo e também geração a partir do interior. Na parte exterior, o procedimento incluiu uma análise de sensibilidade relativamente à quantidade de fotografias utilizadas no ReCap Photo, e no ambiente interior foi efetuada uma comparação dos resultados tendo em conta diferentes cenários de exposição à luz do ambiente. Nas duas abordagens foram testados vários equipamentos diferentes para captura das imagens.

3.2 Equipamento

3.2.1 Câmera 1

O primeiro equipamento utilizado foi a câmara fotográfica digital, modelo Sony Cyber-shot DSC-W330 (Figura 10). Esta é uma câmara de baixo custo e faz parte do segmento de entrada da linha de câmeras digitais.



Figura 10 – Sony Cyber-shot DSC-W330. Fonte: Sony

Esta câmera possui configurações básicas, por se tratar de um modelo relativamente antigo, com lançamento datado de janeiro de 2010. É um equipamento dirigido aos que desejam fotografar sem a necessidade de ajustes uma vez que, a Sony Cyber-shot DSC-W330 dispõe de um modo automático que facilita a utilização por parte de fotógrafos mais inexperientes. A câmera possui um sensor CCD de alta resolução (14.1 megapixels) e um visor LCD, além da lente *wide-angle* (26mm), recomendada para fotografias de amplas paisagens e grupos de pessoas a curta distância. Ao aplicar o zoom, o alcance de 105mm é mais adequado para produzir retratos. As especificações principais deste equipamento estão sintetizadas na tabela 1.

Cyber-shot DSC-W330			
Fabricante	Sony	Lançamento	Janeiro/2010
Categoria	Supercompacta	Faixa de preço	Até R\$1.000
Peso	112g	Dimensões	9.59 x 5.68 x 1.73 cm
Resolução	14.1 megapixels	Sensor	CCD de 1/2.3"
Alcance Focal	26mm a 105mm	Abertura	F2.7 - F5.7

Tabela 1 - Especificações técnicas Sony DSC-W330. Fonte: Sony

3.2.2 Câmera 2

O segundo equipamento utilizado neste trabalho foi o smartphone Apple iPhone 11 Pro Max (Figura 11), que possui um sistema triplo de câmeras com sistema ultra-wide e abertura primária f/1.8. Cada lente deste equipamento possui 12 MP de resolução, garantindo uma enorme versatilidade para as imagens obtidas. O equipamento tem foco inteligente e configurações

3- Metodologia e casos de estudo

automáticas, pelo que as suas fotografias têm um aspecto profissional, também devido ao software que otimiza pixel por pixel das imagens capturadas.



Figura 11 – Apple iPhone 11 Pro Max. Fonte: Apple

O iPhone 11 Pro Max tem uma lente exclusiva para zoom. As outras duas funcionam como câmara principal e grande ocular, que aumenta o campo de visão para até 120°. A câmara possui dupla estabilização ótica de imagem, o que garante que não haja ruídos nas fotografias na maioria das ocasiões. A tabela 2 mostra as principais especificações deste equipamento.

iPhone 11 Pro Max			
Fabricante	Apple	Lançamento	Setembro/2019
Categoria	Smartphone	Faixa de preço	R\$6.900
Peso	226g	Dimensões	7.78 x 15.8 x 0.81 cm
Resolução	12 megapixels	Sensor	CCD de 1/2.55"
Alcance Focal	26mm a 52mm	Abertura	F1.8 - F2.4

Tabela 2 – Especificações câmara iPhone 11 Pro Max. Fonte: Apple

3.2.3 Câmera 3

A terceira câmara utilizada foi do tipo DSLR, marca Canon, modelo EOS Rebel T6 (Figura 12). Segundo o site da fabricante, a EOS Rebel T6 é uma câmara que oferece “a qualidade que suas fotografias merecem”. Trata-se, portanto, de um equipamento destinado a um público que busca imagens com qualidade superior. A câmara está equipada com um sensor de imagem CMOS de 18.0 Megapixels e um processador de imagem DIGIC 4+ para fotografias e vídeos vibrantes e ricos em detalhes mesmo em ambientes com pouca luz.



Figura 12 – Canon EOS Rebel T6. Fonte: Canon Brasil

A lente utilizada neste trabalho foi uma Canon, com distância focal variável entre 38 a 76mm com função autofocus disponível e diâmetro de 52mm (Figura 13). Esta lente é indicada para objetos menores pois a sua abertura angular é pequena, o que pode condicionar o seu uso para a fotogrametria na área de edifícios. Vale a pena ressaltar que esta foi a lente utilizada neste trabalho porque era a que estava disponível no momento.



Figura 13 – Lente Canon utilizada. Fonte: Canon Brasil

As especificações técnicas da câmera podem ser vistas na tabela 3:

3- Metodologia e casos de estudo

EOS Rebel T6			
Fabricante	Canon	Lançamento	Abril/2016
Categoria	Reflex	Faixa de preço	R\$2.900
Peso	485g	Dimensões	12.9 x 10.1 x 7.76 cm
Resolução	18 megapixels	Sensor	CMOS de 1/3.5"
Alcance Focal	38mm a 76mm	Abertura	F4.5 - F5.6

Tabela 3 – Especificações Técnicas EOS Rebel T6. Fonte: Canon Brasil

3.2.4 Drone

Procurando explorar novas oportunidades no domínio da criação de nuvens de pontos de edifícios existentes, foi feita uma captura de fotografias externa por via aérea. Para isso, foi utilizado um drone do modelo R'Bird Blackmaster (Figura 14) acoplado de uma câmera GoPro Hero 5 (Figura 15). Estes equipamentos foram utilizados para fotografar a cobertura da edificação, completando-se, assim, o levantamento realizado de forma convencional no alçado principal.



Figura 14 – Drone R'Bird Blackmaster. Fonte: Fnac Brasil



Figura 15 – GoPro Hero 5. Fonte: Fnac Brasil

O drone R'Bird é do segmento de entrada, e possui especificações relativamente básicas, que podem condicionar os resultados obtidos. A bateria de 1160mAh possibilita um voo de aproximadamente 12 minutos, tempo que pode ser insuficiente para uma boa captura de fotografias. Além disso, o equipamento não tem estabilizador de voo e retorno automático em caso de falta de bateria. De facto, durante o desenvolvimento deste trabalho, o drone mostrou-se bastante difícil de pilotar, especialmente nas situações em que se fazia sentir algum vento, ainda que não muito forte. Adicionalmente, a câmera não tem integração com o drone, ou seja, é sempre necessário um piloto para o drone e outro operador para capturar as fotografias a partir do aplicativo da GoPro.

A tabela 4 mostra as especificações da câmera GoPro Hero 5 Black Edition.

Hero 5 Black Edition			
Fabricante	GoPro	Lançamento	Outubro/2016
Categoria	Action	Faixa de preço	R\$1.700
Peso	118g	Dimensões	4.45 x 6.2 x 3.2 cm
Resolução	12 megapixels	Sensor	CMOS de 1/2.3"
Alcance Focal	35mm	Abertura	F2.8

Tabela 4 – Especificações GoPro Hero 5. Fonte: Fnac Brasil

3.3 Casos de estudo

3.3.1 Localização e características do edifício

O objeto de estudo é uma residência do tipo sobrado, localizada num bairro residencial na cidade de Campinas, São Paulo, Brasil. A residência foi projetada em 2003 e conta com 4 quartos, sala de estar, cozinha, lavanderia, dispensa, sala de televisão, lavabo, garagem, varanda e área de lazer. A frente da casa tem aproximadamente 22 metros de comprimento, e pode ser vista na Figura 16. Neste edifício foram definidos três casos de estudo: alçado principal (exterior), sala (interior) e cobertura (exterior/aérea).



Figura 16 – Alçada principal da residência

3.3.2 Caso 1: Exterior

Para se criar o modelo tridimensional do exterior da edificação, com cada câmera foram tiradas fotografias do alçado principal, garantindo-se a sobreposição de imagem entre todas elas de pelo menos 50%, conforme o aconselhado na literatura. A figura 17 mostra uma estimativa obtida pelo programa da posição e da direção de onde foram tiradas as fotografias, sendo 70 no nível do solo e 5 em posição elevada.



Figura 17 – Localização dos pontos de captura das fotografias

Com cada uma das câmeras foram tiradas as fotografias nas posições indicadas na Figura 17, sempre no mesmo horário do dia, procurando-se garantir as mesmas condições ambientes para todos os equipamentos.

Um dos objetivos do trabalho passa por avaliar o impacto de incluir diferentes quantidades de fotografia no processo de geração da nuvem de pontos. Desta forma, foi necessário garantir que se cobria todo o alçado principal do edifício com apenas 25 fotografias (valor mais baixo que foi adotado na análise de sensibilidade).

3.3.3 Caso 2: Interior

Para a modelação no interior do edifício foi escolhida a sala de estar como objeto de estudo. A escolha foi feita tendo em conta o espaço aberto deste compartimento, que facilita a captura das fotografias a partir de diferentes ângulos e distâncias: Além disso, o espaço inclui muitos detalhes de decoração, o que possibilita uma avaliação mais detalhada da eficácia do método (Figura 18).



Figura 18 – Objeto de estudo interno: sala de estar.

A área total da sala é de aproximadamente 30 m², sendo 6,10 m de largura e 4,90 m de profundidade, pelo que, à partida, não é necessária uma grande quantidade de fotografias para gerar o modelo. O espaço possui no seu lado direito (conforme imagem acima) uma grande porta de vidro de correr, que permaneceu aberta durante os ensaios diurnos e fechada no ensaio noturno. Dessa forma, foi definido que o parâmetro a utilizar na análise de sensibilidade do método para o interior seria a exposição/iluminação.

Nesse sentido, foram definidos três cenários correspondentes a três horários distintos ao longo do dia: logo pela manhã, quando a incidência solar é direta; no período da tarde, quando ainda há incidência solar, porém indireta e à noite, quando foi utilizada luz artificial.

3.3.4 Caso 3: Cobertura

Para a modelação da cobertura foi utilizado o drone descrito na secção anterior. O objetivo foi tirar algumas fotografias adicionais e juntá-las ao que já se existia da cobertura, procurando-se, assim, criar um modelo mais detalhado da mesma. Como a residência é do tipo sobrado, seria impossível cobrir toda a cobertura com fotografias tiradas a partir do nível térreo.

3.4 Plano de ensaio

Quer no ensaio que decorreu no exterior, quer no do interior, o procedimento para a captura das imagens incluiu algumas preocupações comuns. Como o objetivo é comparar os modelos gerados no mesmo caso de estudo é necessário garantir que as fotografias são tiradas da mesma posição, no mesmo horário e com as configurações da câmara o mais similar possível umas das outras. Apesar dessas características em comum, cada ensaio tem as suas particularidades e dificuldades específicas, conforme descrito na subsecção seguinte.

3.4.1 Exterior

A primeira tarefa do ensaio externo foi escolher a hora do dia mais adequada para capturar as imagens. Nessa escolha, alguns aspetos foram tidos em consideração: a incidência de luz não deve ser muito alta para que não prejudique as imagens da câmara e também devem ser evitadas sombras sobre o edifício. Neste sentido, a hora escolhida foi por voltas das 16h, quando ainda há incidência solar direta, mas com intensidade moderada.

Escolhido o horário, foi então definido um plano de execução, que inclui o trajeto a ser percorrido e a identificação dos pontos onde deveriam ser tiradas as fotografias, conforme a Figura 19.



Figura 19 – Planejamento do trajeto percorrido no ensaio exterior, conforme método linear de captura.

O trajeto iniciou-se a partir do ponto mais à direita, seguindo-se o seguinte procedimento:

- I. Mudar as configurações de foco de automático para manual, quando possível, e ajustar o foco de acordo com o necessário;
- II. Posicionar a câmera paralelamente ao eixo horizontal da residência e tirar a primeira fotografia;
- III. Rodar a câmera em torno do seu eixo vertical alguns graus no sentido anti-horário, procurando incluir cerca de 60% do conteúdo da imagem anterior, e tirar a nova fotografia;
- IV. Repetir o passo III até que se cubra a totalidade da alçada principal;
- V. Mover a câmera aproximadamente 1 metro para a esquerda e repetir os passos II, III e IV até que se chegue ao final do trajeto previsto;
- VI. Quando disponível, repetir o procedimento de tomada de fotografias em nível elevado, para registrar as zonas mais altas do edifício e a cobertura.

Ao todo foram tiradas 70 fotografias no nível térreo e 5 adicionais da cobertura. Dentre as 75 fotografias, foram selecionadas 25, consideradas como indispensáveis para construir o modelo de nuvem de pontos. As demais fotografias buscaram então aumentar a qualidade da nuvem de pontos gerada e o seu nível de detalhes, tendo sido criado um grupo intermédio com 50 fotografias e um com um expectável alto nível de qualidade com 75 fotografias.

Para calibração da escala do modelo e

3.4.2 Interior

Seguindo um procedimento similar ao da captura de imagens no exterior, o ensaio do interior aconteceu em três momentos diferentes ao longo do dia. Em cada um dos pontos de captura de fotografias, posicionou-se cada uma das três câmeras e tiradas então 30 fotografias por ensaio, de acordo com o seguinte procedimento:

- I. Mudar as configurações de foco de manual para automático, quando possível, devido à curta distância entre a câmera e o objeto de estudo;
- II. Posicionar a câmera numa das extremidades do compartimento, a uma altura que permita ver a totalidade da parede, do chão até o teto;
- III. Pressionar levemente o botão do obturador ou clicar na tela do smartphone para que seja ajustado o foco automaticamente e tirar a primeira fotografia;
- IV. Rodar a câmera em torno do seu eixo vertical alguns graus no sentido desejado, procurando incluir cerca de 60% do conteúdo da imagem anterior, e tirar a nova fotografia;

3- Metodologia e casos de estudo

- V. Repetir o passo IV até que se cubra a totalidade do compartimento;
- VI. Mover a câmera aproximadamente meio metro para o lado e repetir os passos III, IV e V até que se chegue ao final do trajeto previsto.

No total foram realizados 9 ensaios, com 30 fotografias em cada.

3.4.3 Cobertura

Para a captura de fotografias da cobertura foram necessárias duas pessoas, uma para pilotar o drone e outra para operar a câmera a partir do aplicativo para smartphone. Além disso, como o drone não possui apoio para a descolagem do chão, uma das pessoas precisa segurá-lo no ar para realizar a descolagem e a aterragem.

Para garantir as condições de iluminação idênticas, o ensaio com o drone decorreu no mesmo horário dos outros ensaios realizados anteriormente, em dias diferenciados. A descolagem ocorreu com dificuldades por volta das 4 horas da tarde, devido à falta de tecnologia do drone e das condições do tempo, que apresentava uma brisa ligeira, mas suficiente para desestabilizar o voo. A tomada de fotografias durou cerca de 9 minutos e foram registradas apenas 15 fotografias da cobertura, devido à disponibilidade do drone.

3.5 Procedimentos

3.5.1 Processamento de imagem

As imagens obtidas nos três casos de estudo não sofreram nenhum pré-processamento, de modo a não condicionar a comparação entre os equipamentos de captura das fotografias. Os ajustes foram todos realizados antes da captura das fotografias e de forma automática, como a definição da abertura, ISO e exposição. A qualidade da imagem foi sempre a maior permitida por cada equipamento.

3.5.2 Importação e classificação

Todas as imagens capturadas, tanto do interior como do exterior, foram transferidas de cada equipamento para um disco externo e arquivadas separadamente em pastas por modelo de câmera e quantidade de fotografias a ser utilizada, no caso do ensaio no exterior, e hora do dia, no caso do ensaio no interior. Na Figura 20 temos a estrutura do plano de ensaio para a realização do projeto.

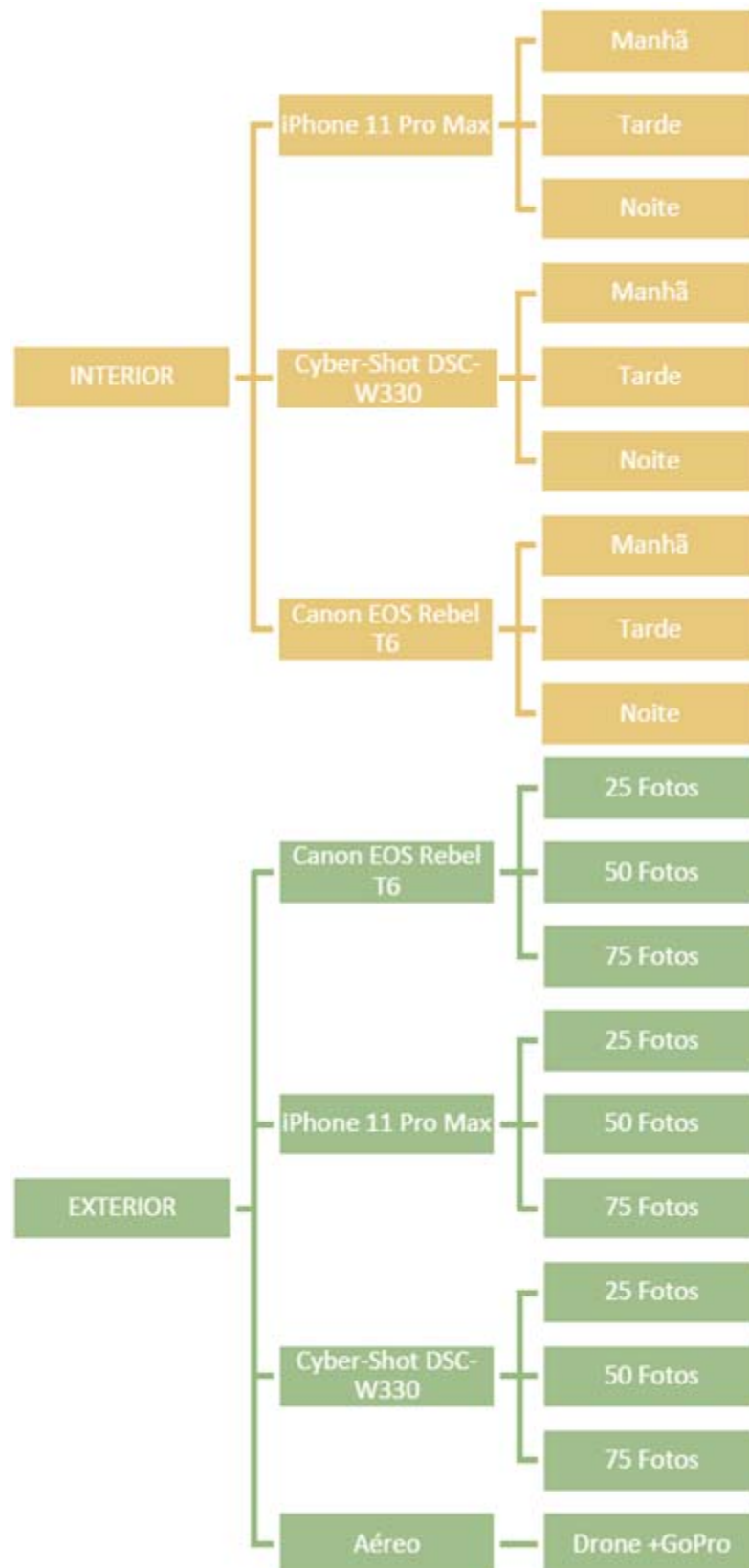


Figura 20 – Plano de ensaio para os casos de estudo

3.5.3 Autodesk ReCap Photo

Após a separação de todas as imagens, avançou-se para a criação dos modelos de nuvem de pontos, utilizando-se, para tal, o programa Autodesk ReCap Photo. O processo de importação de imagens é simples e direto, pois não necessita de configurações adicionais. Para iniciar a criação do modelo, deve-se clicar na opção Create 3D > Object, conforme mostra a Figura 21.

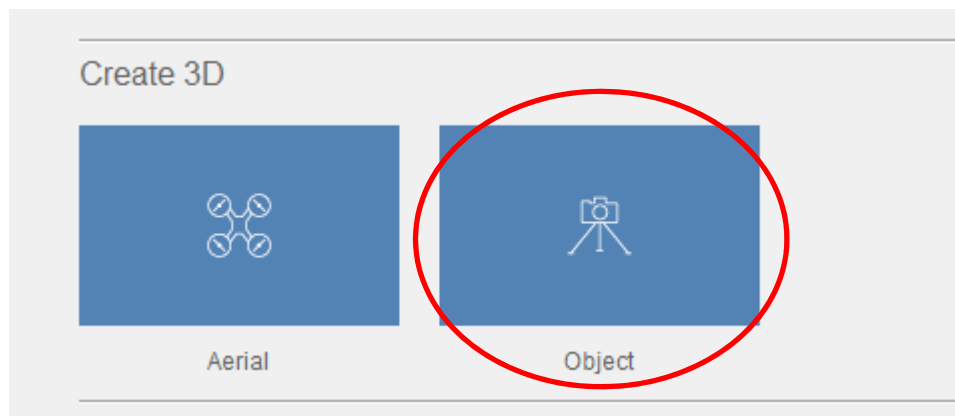


Figura 21 – Interface do programa ReCap Photo: criação de novo modelo.

Ao clicar na opção “Object” é aberta uma nova janela para escolha das imagens a serem utilizadas na criação do projeto. Basta clicar na opção de selecionar as imagens, navegar até à pasta desejada e selecionar as imagens que se pretende utilizar para a geração do modelo. Refira-se que a versão utilizada do programa tem um limite mínimo e máximo de imagens para cada projeto, sendo estes 20 e 100, respetivamente. Após selecionar todas as imagens desejadas, basta pressionar o botão “Create”, que o processo de criação do modelo acontece de maneira automática.

O ReCap Photo é um programa de computador dedicado à fotogrametria que utiliza a nuvem para a criação de modelos. Ao iniciar a criação de um projeto é feito o upload das fotografias para o servidor da Autodesk, onde as mesmas são processadas, a partir das quais é então criado o modelo tridimensional do objeto desejado.

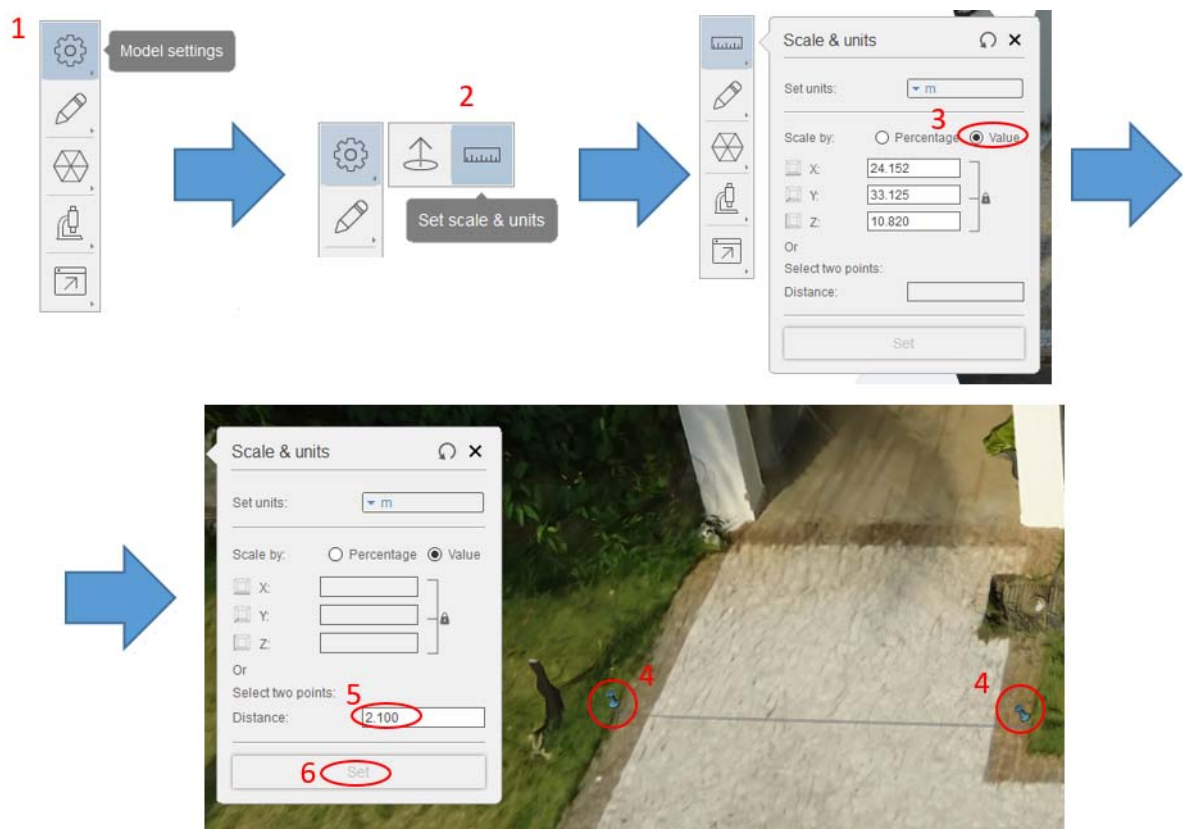
Quando o aplicativo termina de processar as imagens e cria o modelo, o mesmo fica disponível para download no canto inferior da interface principal do programa. Ao clicar no botão para fazer o download é aberta uma janela do Windows para selecionar a pasta onde deve ser salvo o projeto, e feito isso, o arquivo passa a estar disponível, como mostra a Figura 22.



Figura 22 – Botão para carregar um modelo ou abrir um modelo recente

Ao abrir o projeto no ReCap Photo devem ser feitos alguns ajustes básicos, para melhorar o seu aspeto do mesmo. O primeiro passo é adequar a escala, com base em pelo menos uma medida conhecida do projeto, de acordo com o seguinte procedimento:

1. No canto esquerdo do écran clicar em “Model Settings”;
2. Selecionar a opção “Set scale & units”;
3. Na janela de edição clicar em “value”;
4. Selecionar dois pontos com a distância conhecida;
5. Inserir o valor da distância;
6. Clicar em “Set” para finalizar a correção da escala.



Após a correção da escala também é possível melhorar a qualidade do modelo que foi gerado, eliminando eventuais elementos desnecessários e falhas de criação do modelo. Existe uma

ferramenta no programa que realiza esses ajustes de forma automática: a ferramenta Analyze > Detect and fix model issues. Esta ferramenta pode ser acedida também no canto esquerdo da janela, na terceira opção, e abre uma janela de diagnóstico onde é possível eliminar todas as partículas soltas no modelo, preencher buracos da malha e suavizar intersecções. Além disso, é possível eliminar manualmente eventuais elementos indesejados do projeto, selecionando-os e apagando-os.

Depois de realizar todos os ajustes desejados, a última etapa realizada no ReCap Photo é salvar o arquivo e exportar para o formato de nuvem de pontos (.pts). Para importar o arquivo no ReCap Pro é necessário realizar a exportação para esse formato, pois o programa não aceita diretamente o formato original do ReCap Photo, o .rcm.

Para exportar o arquivo, basta clicar na opção “export” no canto esquerdo do écran e depois na opção “export model”, selecionando o formato de arquivo que se deseja gerar e clicar em “export”.

3.5.4 Autodesk ReCap Pro

O ReCap Pro não tem a função de criar modelos tridimensionais, apenas visualizá-los e editá-los. Para tal disponibiliza ferramentas avançadas de edição e visualização do modelo de nuvem de pontos. Além disso, só é possível exportar-se uma nuvem de pontos para ser inserida no Autodesk Revit com este programa, pois é o único que gera um ficheiro com o formato compatível.

3.6 Comparação

Para criar parâmetros de comparação entre os modelos gerados foram definidos pontos de análise para o caso externo e interno, conforme explicado a seguir.

3.6.1 Exterior

Inicialmente, todas as nuvens de pontos do modelo externo tiveram a sua escala ajustada com base na mesma medida. Para esse feito, selecionou-se a largura do passeio principal, que mede 2,13 m (Figura 23).



Figura 23 – Medida base para configuração de escala

Para a validação e comparação do rigor das várias nuvens de pontos foram usadas outras duas medidas, nomeadamente:

- Cobertura superior esquerda (Figura 24): 6,00 m de comprimento (verde);



Figura 24 – Medida cobertura superior esquerda

3- Metodologia e casos de estudo

- Cobertura inferior direita (Figura 25): 9,50 m de comprimento (amarelo).



Figura 25 – Medida cobertura inferior direita

3.6.2 Interior

Para o caso de estudo interno, como medida comparativa foi analisada a qualidade em relação à definição de imagem de 3 pormenores presentes no compartimento analisado, como mostram as Figuras 26, 27 e 28.

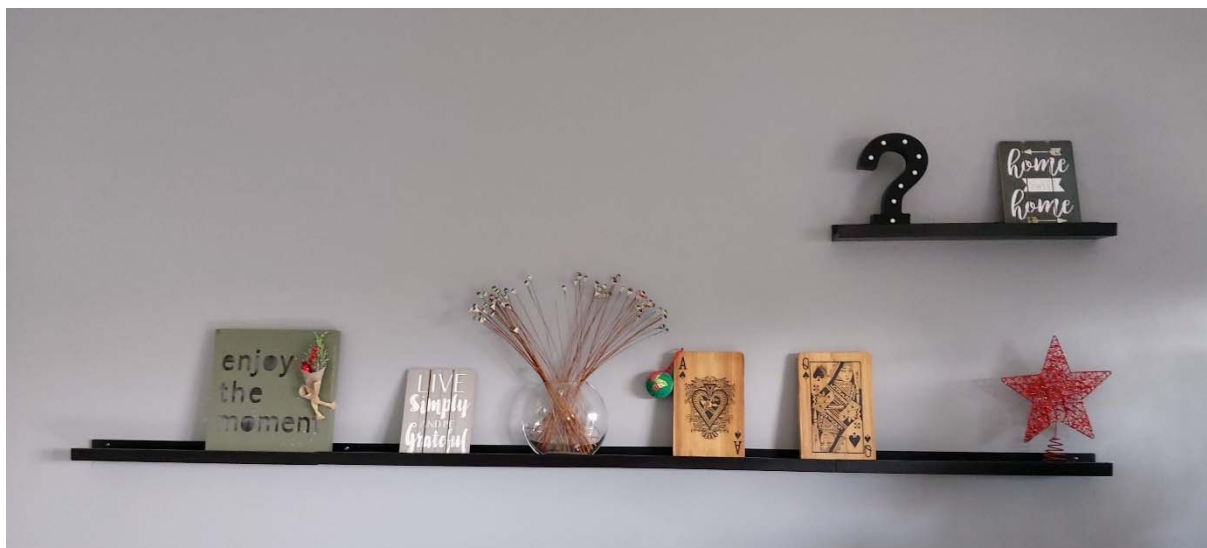


Figura 26 – Acessórios da parede



Figura 27 – Árvore de Natal

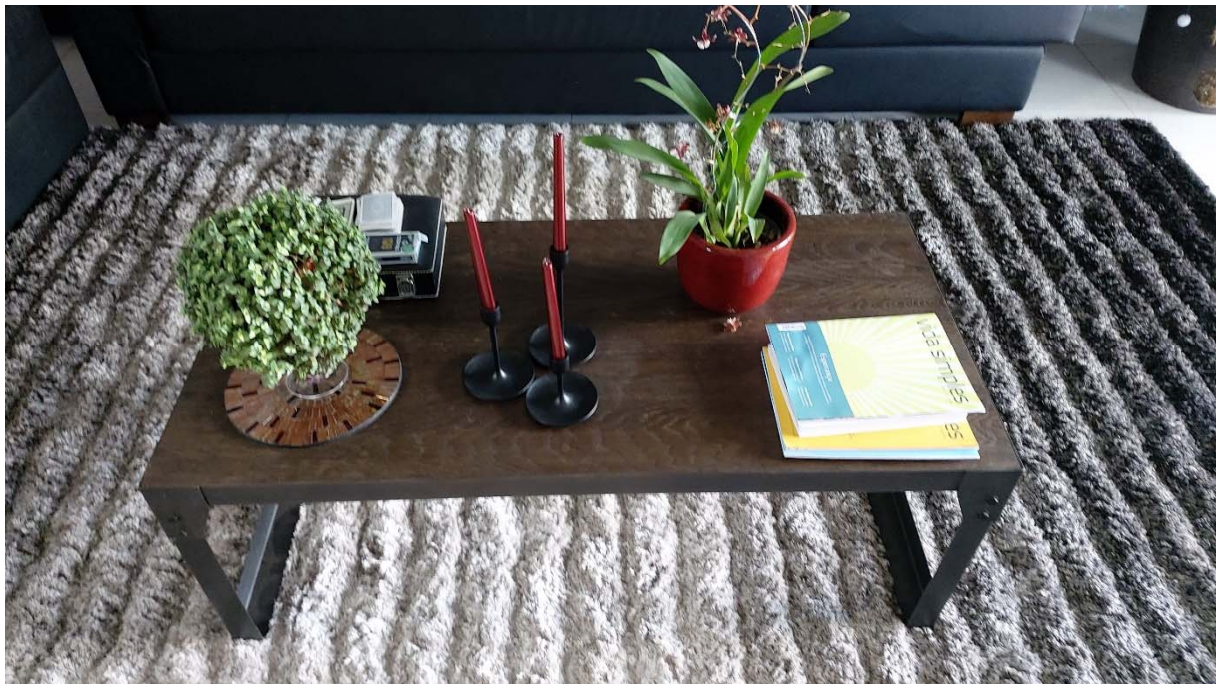


Figura 28 – Mesa de centro

4. Resultados

4.1 Considerações iniciais

Neste capítulo são apresentados os resultados do método experimental descrito no capítulo anterior. Primeiramente são abordados os casos de estudo externos, apresentando-se os resultados separadamente em função da câmara e da quantidade de fotografias utilizada para a geração do modelo de nuvem de pontos. Em seguida são apresentados os resultados obtidos a partir dos ensaios realizados no interior da habitação, também separadamente por equipamento utilizado e por hora do dia em que foi realizado o ensaio. O objetivo de cada análise é discutir qual o melhor método para a captura das fotografias e posterior criação do modelo de nuvem de pontos. A última secção inclui os resultados obtidos no levantamento da cobertura com apoio do drone.

4.2 Modelo externo

O caso de estudo externo resultou na criação de 9 nuvens de pontos diferentes entre si tanto pelo equipamento utilizado quanto pelo número de fotografias. Estas nuvens de pontos foram analisadas e comparadas em relação à sua capacidade de representar a realidade de forma rigorosa. Para tal, utilizaram-se algumas medidas conhecidas do edifício, permitindo assim discutir as vantagens e desvantagens associadas a cada caso.

4.2.1 Caso E.1: Sony Cyber-shot DSC-W330

O primeiro equipamento que foi testado foi a câmera Sony Cyber-shot DSC-W330, analisando-se 3 situações distintas, de acordo com a quantidade de fotografias utilizadas para a geração da nuvem de pontos. Esta câmera é a que possui configurações mais básicas e é também a mais antiga. Por essas razões, era esperada maior dificuldade na geração da nuvem de pontos, em relação aos outros equipamentos.

4.2.1.1 Caso E.1.1: 25 fotografias

Utilizando apenas as 25 fotografias indispensáveis para a criação do modelo, conforme descrito anteriormente, foi criada a primeira nuvem de pontos do objeto de estudo. Apesar da baixa quantidade de fotografias que foi utilizada, conseguiu cumprir-se o seu papel de gerar uma superfície completa. Porém, o resultado apresenta um nível muito baixo de detalhes e diversos espaços vazios no modelo, conforme apresentado na Figura 29.



Figura 29 – Caso E.1.1: Sony Cyber-shot DSC-W330 com 25 fotografias

Na Figura 30 é mostrada a distorção acentuada da cobertura para o caso.

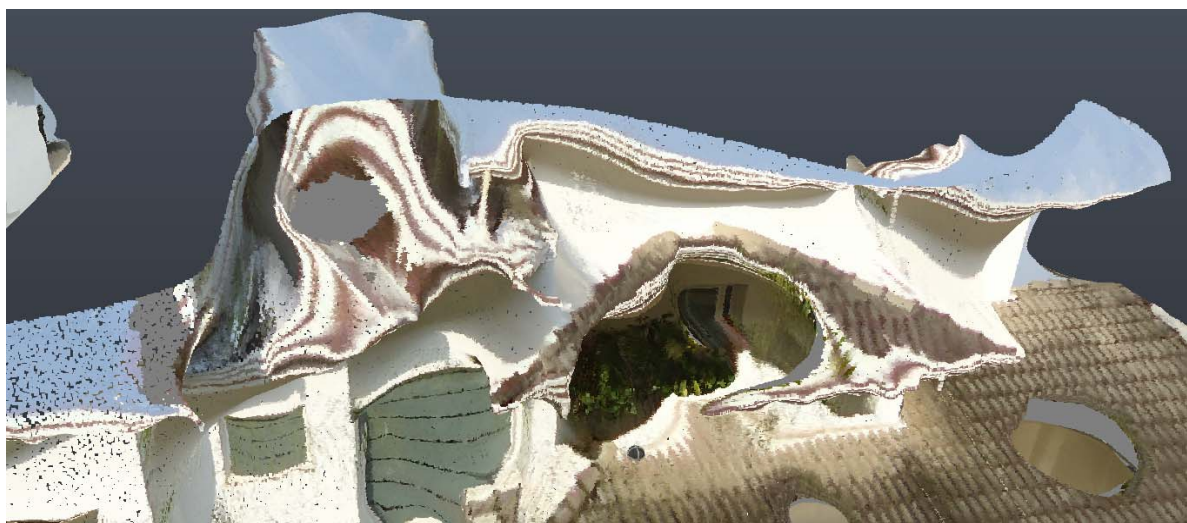


Figura 30 – Detalhe da cobertura E.1.1: distorção de linhas

4- Resultados

Esta distorção ocorre devido à falta de informação das regiões mais distantes nas imagens utilizadas. Como o número de fotografias neste caso era limitado a 25, procurou-se cobrir apenas o essencial da estrutura, com fotografias mais distantes e com menos enfoque nas singularidades do alçado.

Apesar da baixa qualidade do modelo gerado, considerando o número de fotografias utilizadas, o resultado foi compatível com o esperado. O modelo permite ter uma concepção geral do alçado principal do edifício, bem como dos seus elementos construtivos principais, ainda que não se possa fazer um levantamento detalhado das singularidades construtivas. Em relação ao equipamento, o resultado até acaba por ser acima do esperado, pois trata-se de uma câmara comum com configurações de entrada.

Na Figura 31 está apresentado o detalhe correspondente à extração da medida da cobertura superior esquerda e na Figura 32 o detalhe da medida da cobertura inferior direita, para efeito de posterior comparação dos resultados com os outros equipamentos.



Figura 31 – Medida da cobertura superior esquerda do caso E.1.1

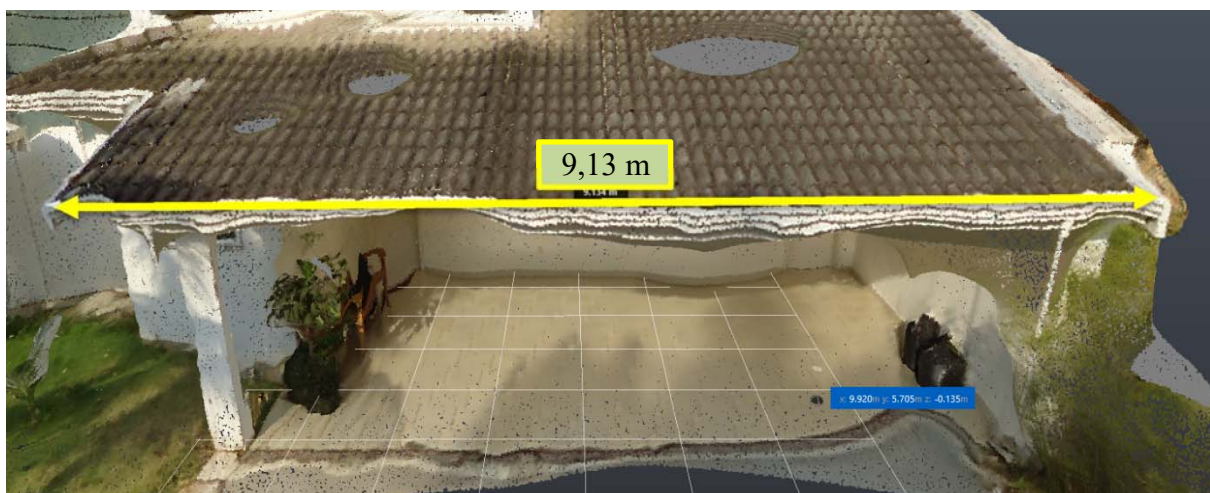


Figura 32 – Medida da cobertura inferior direita do caso E.1.1

4.2.1.1.1 Caso E.1.2: 50 fotografias

Para o segundo modelo gerado a partir da câmera Cyber-shot, foram usadas as 25 fotografias do primeiro caso e mais 25 fotografias complementares. Com as fotografias adicionais procurou-se inserir mais detalhes no modelo, focando essencialmente em áreas inicialmente não cobertas ou com pouca visibilidade. O resultado do modelo de nuvem de pontos está apresentado na Figura 33.



Figura 33 - Caso E.1.2: Sony Cyber-shot DSC-W330 com 50 fotografias

A Figura 35 mostra que o modelo obtido apresenta muitas semelhanças ao caso E.1.1. Embora em alguns pontos ocorra uma melhoria na linearidade das linhas, observa-se uma perda de qualidade geral da nuvem de pontos, conforme evidenciado na Figura 34. Considerando que o maior número de fotografias utilizadas deveria por lógica melhorar a qualidade do resultado, pode-se afirmar que o resultado não ocorreu conforme o esperado. A inclusão das fotografias adicionais parece ter dificultado a identificação de pontos em comum, criando eventualmente um excesso de informação que dificultou o algoritmo de criação da nuvem de pontos.

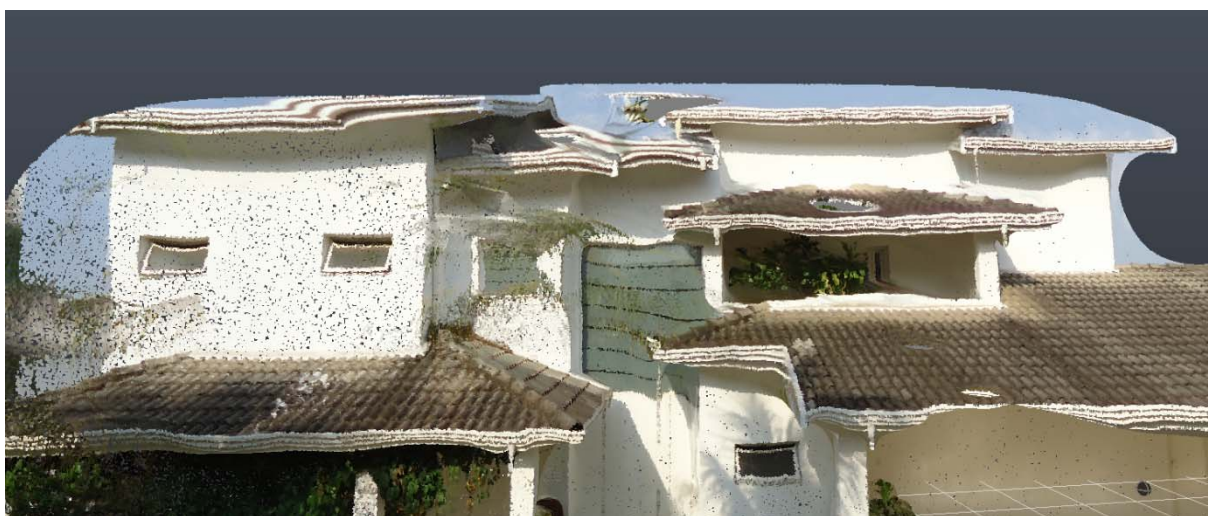


Figura 34 – Detalhe do alçado principal: melhoria de alguns elementos do edifício

4- Resultados

Em relação às medidas de referência do modelo, é possível observar na Figura 35 que houve uma perda na qualidade da região analisada, dificultando a obtenção de uma medida condizente com a real.

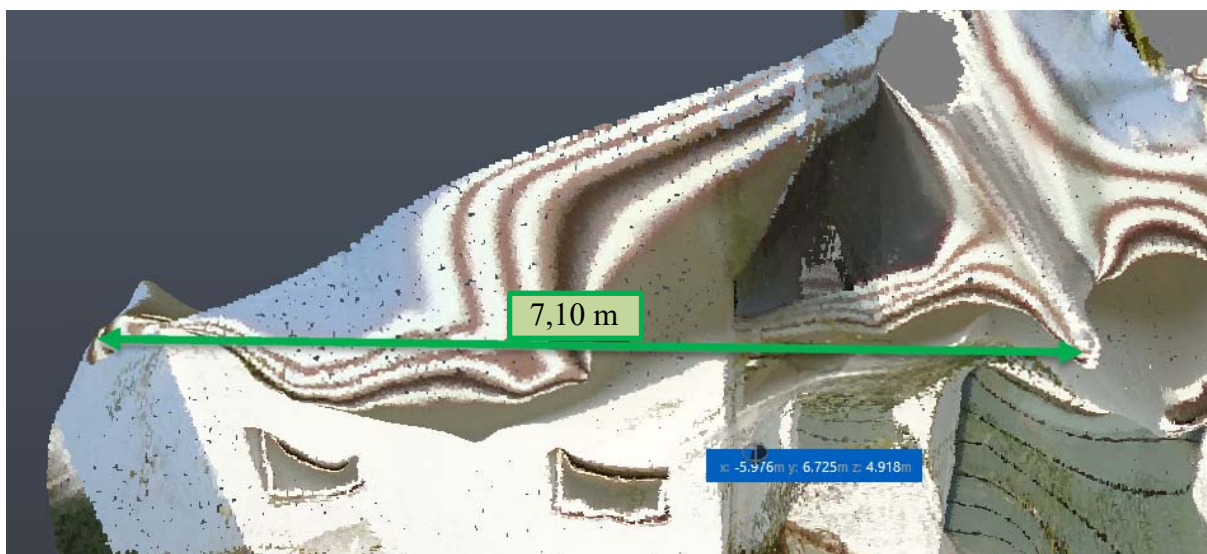


Figura 35 – Medida cobertura superior esquerda do caso E.1.2

A Figura 36 mostra que no caso da cobertura inferior direita, a distorção não foi tão acentuada, permitindo que a medida se aproximasse do valor real.

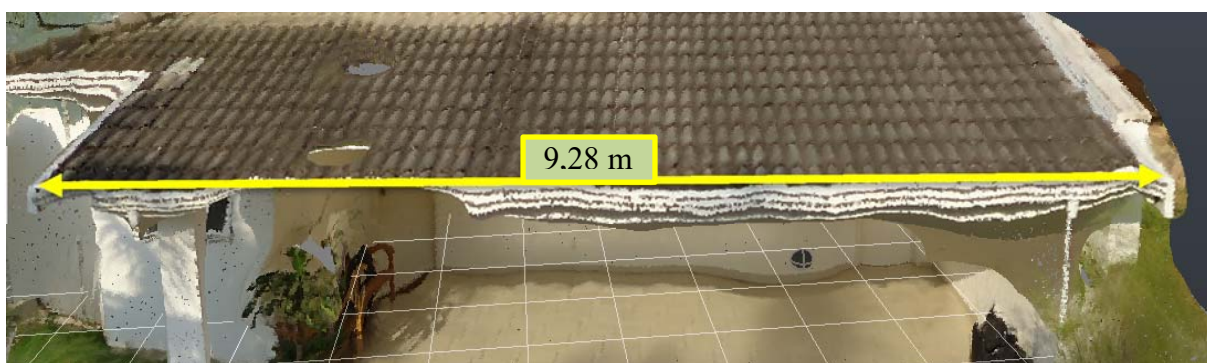


Figura 36 – Medida da cobertura inferior direita do caso E.1.2

4.2.1.1.2 Caso E.1.3: 75 fotografias

O último modelo gerado com a câmera Sony apresentou um resultado surpreendentemente bom. Por se tratar de uma câmera antiga, era esperado que mesmo com 75 fotografias, não fosse possível gerar um modelo tridimensional onde fosse possível identificar os principais elementos utilizados na construção e obter medidas parecidas com as reais. Apesar de apresentar algumas falhas na cobertura, a superfície gerada tem alto grau de fidelidade com a estrutura original, conforme mostra a Figura 37.



Figura 37 - Caso E.1.3: Sony Cyber-shot DSC-W330 com 75 fotografias

A principal melhoria em relação aos modelos anteriores ocorre na zona da cobertura, que mesmo contendo alguns vazios, já permite a identificação dos recortes e particularidades desta estrutura complicada, nomeadamente na zona central (mais escondida), como mostra a Figura 38.



Figura 38 – Detalhe da cobertura caso E.1.3

Conforme apresentado na Figura 38, a textura da cobertura ainda é difícil de identificar, mas as suas características gerais como forma e dimensões podem ser estimadas a partir do modelo tridimensional. A presença de vazios na parte mais alta da cobertura ocorre, provavelmente, pela falta de informações desta região; o local de onde as fotografias foram tiradas dificulta a interpretação da perspectiva de profundidade, e faz com que o software não consiga gerar o modelo para a área.

Nas Figuras 39 e 40, mostram-se as medidas obtidas na cobertura superior esquerda do modelo e na cobertura inferior direita, respectivamente.

4- Resultados

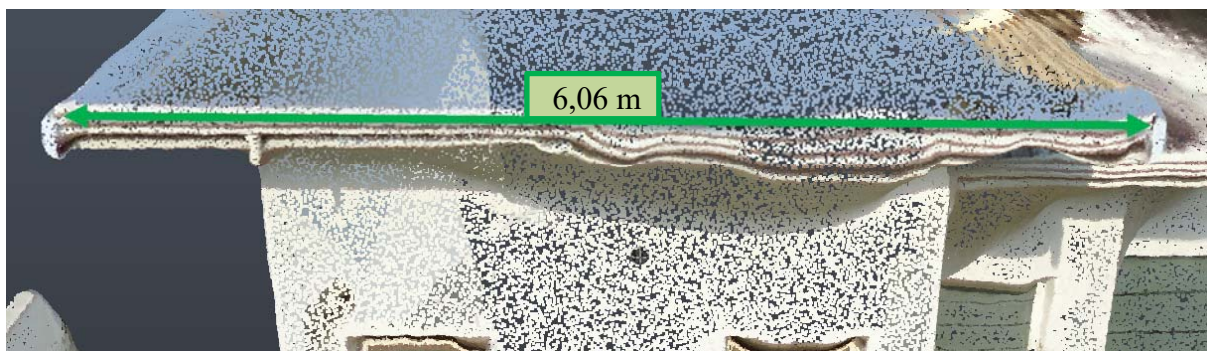


Figura 39 – Medida da cobertura superior esquerda do caso E.1.3

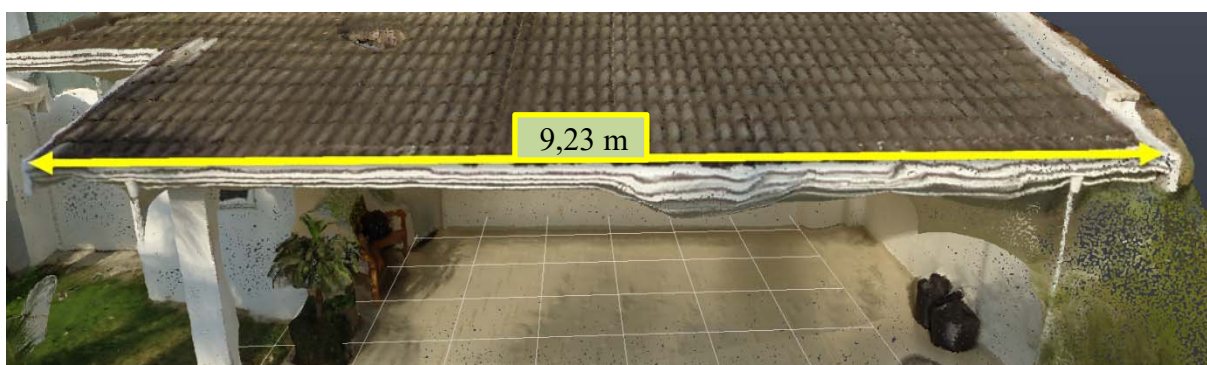


Figura 40 – Medida da cobertura inferior direita do caso E.1.3

Baseado nas informações apresentadas anteriormente, conclui-se que o resultado obtido a partir do caso E.1.3 foi bastante interessante, tendo a nuvem de pontos apresentado medidas idênticas com a realidade e a texturização possibilita identificar os elementos construtivos principais, e alguns secundários, do alçado.

4.2.2 Caso E.2: Apple iPhone 11 Pro Max

Para o segundo caso de estudo foram utilizadas as imagens obtidas com a câmera integrada do Apple iPhone 11 Pro Max, dividido também em outros 3 subtópicos de acordo com a quantidade de fotografias. Apesar de se tratar de um smartphone, a câmera do iPhone possui elevada qualidade, permitindo obter imagens com bons resultados relativamente à iluminação, saturação e cor das fotografias.

4.2.2.1 Caso E.2.1: 25 fotografias

Assim como no caso do equipamento anterior, o primeiro modelo do exterior produzido a partir das fotografias tiradas com o iPhone utilizou apenas 25 fotografias do alçado. Apesar de a câmera ser do tipo integrada ao smartphone as fotografias apresentaram ótima qualidade, e o ângulo de abertura da lente *ultra-wide* possibilitou que cada fotografia abrangesse uma área maior e, consequentemente, aumentasse a região de sobreposição entre imagens. A Figura 41 ilustra o resultado da modelação deste caso.



Figura 41 – Caso E.2.1: Apple iPhone 11 Pro Max com 25 fotografias

O número reduzido de fotografias conduziu a um modelo com baixo nível de detalhes e falhas em algumas zonas do edifício. A região da cobertura volta a ser a mais crítica, apresentando uma grande distorção dos elementos construtivos (Figura 42). Também é possível identificar alguns buracos ao longo das superfícies.

Mesmo com os problemas citados acima, o modelo possui aspecto compatível com o esperado considerando a quantidade de fotografias. Nesse sentido, apesar da baixa resolução, ainda é possível identificar as principais singularidades da estrutura e dos seus elementos construtivos.

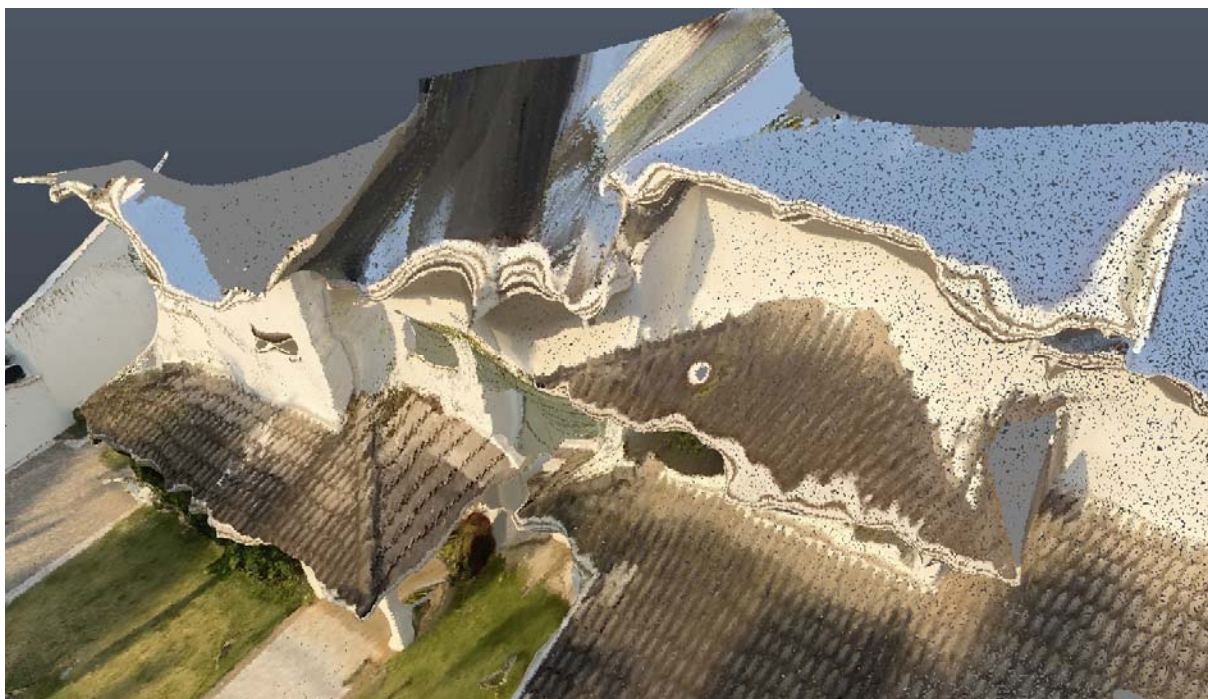


Figura 42 - Detalhe da cobertura E.2.1: distorção de linhas

4- Resultados

Assim como no primeiro caso – apesar de a qualidade ser um pouco maior do que a esperada – a estrutura apresentou grande distorção na região da cobertura provavelmente à quantidade de informação disponível para modelação. Quanto menor o número de fotografias e maior a distância da câmera, pior o nível de fidelidade da superfície.

Na figura 43 tem-se a medida da cobertura superior esquerda, para efeito comparativo. Neste caso a medida apresenta um pequeno erro mas está dentro do esperado, considerando a quantidade de fotografias do caso.

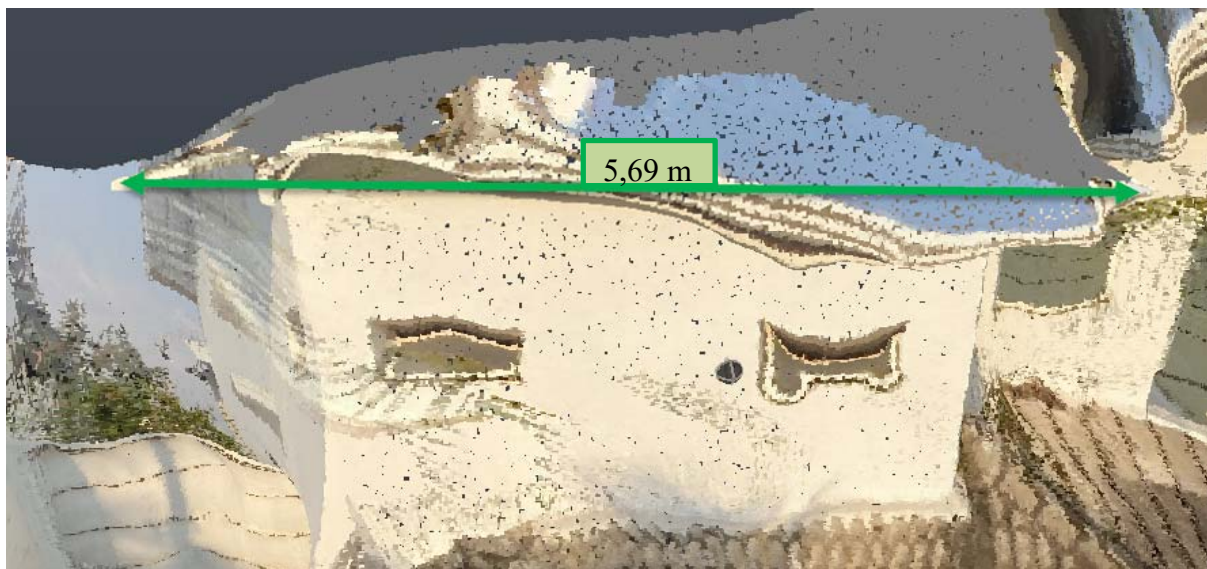


Figura 43 – Medida da cobertura superior esquerda do caso E.2.1

Já no caso da cobertura inferior direita (Figura 44) a distorção foi menor e o valor é proporcionalmente mais próximo do real.

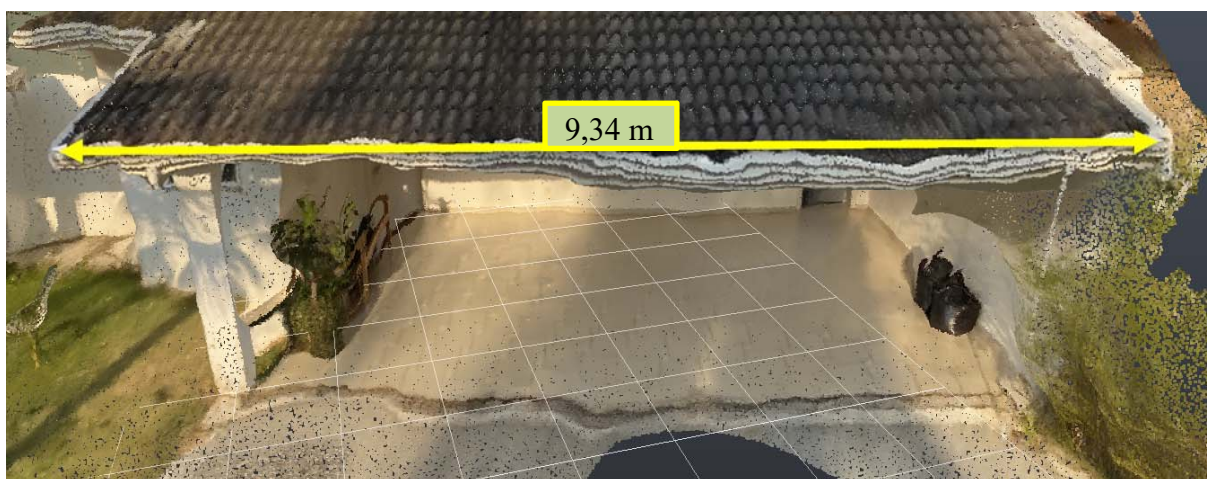


Figura 44 – Medida da cobertura inferior direita do caso E.2.1

4.2.2.2 Caso E.2.2: 50 fotografias

Para o modelo gerado com 50 fotografias a qualidade global da superfície melhorou ligeiramente em relação ao caso anterior. Porém, a zona esquerda do alçado principal, devido à sua complexidade estrutural, sofreu uma grande distorção, dificultando a identificação dos pormenores construtivos desta região.

Desta forma, em termos gerais, o modelo apresenta semelhanças relativamente ao caso E.2.1, com uma ligeira melhoria na linearidade e na densidade da nuvem de pontos, como visto na Figura 45. A falha presente na lateral esquerda mostrou que mesmo com a sobreposição de pelo menos 50% entre as imagens pode ocorrer a falha na identificação desses pontos.



Figura 45 – Caso E.2.2: Apple iPhone 11 Pro Max com 50 fotografias

Para efeito comparativo, pode-se ver na Figura 46 que não foi possível obter a medida real da cobertura no mesmo ponto das anteriores, devido à sua distorção.

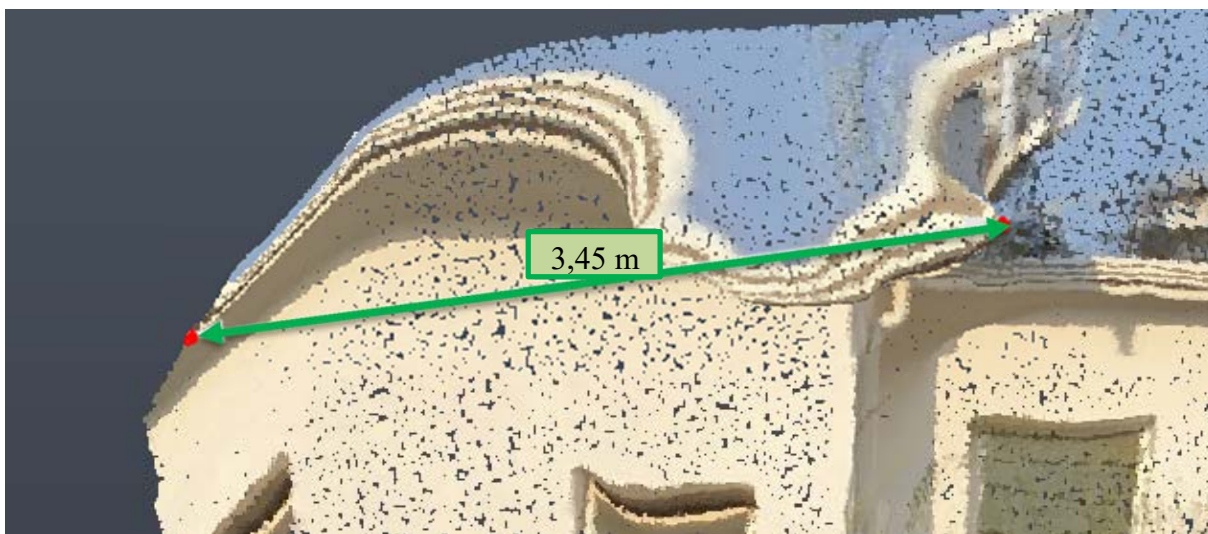


Figura 46 – Medida da cobertura superior esquerda do caso E.2.2

4- Resultados

O mesmo não ocorre na cobertura inferior direita (Figura 47), que apresentou menor distorção e a medida ficou mais próxima do valor real.

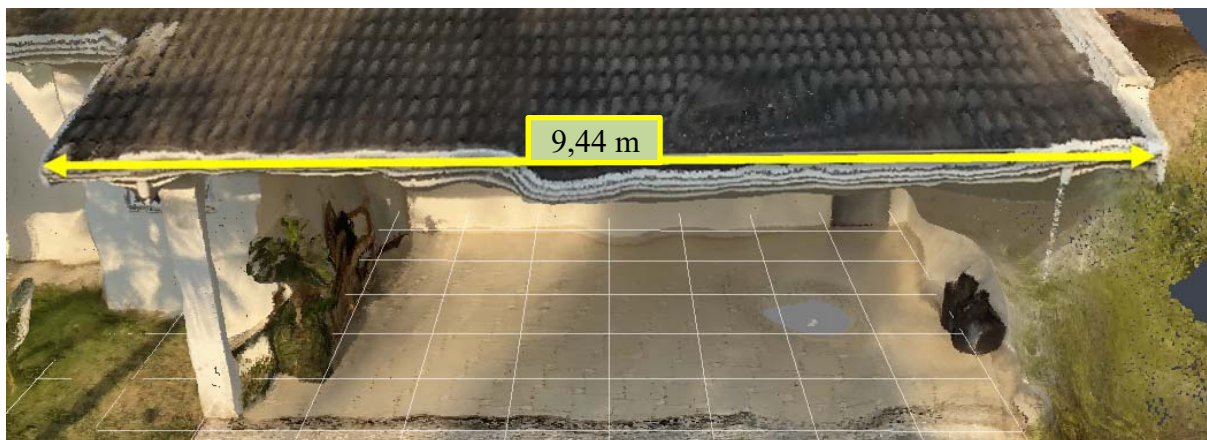


Figura 47 – Medida da cobertura inferior direita do caso E.2.2

4.2.2.3 Caso E.2.3: 75 fotografias

Para o modelo gerado a partir do uso do smartphone iPhone com 75 fotografias, o resultado apresentado foi satisfatório e dentro do esperado. Com alta definição e boa linearidade da estrutura, é possível identificar facilmente alguns pormenores da edificação, tal como as dimensões de elementos estruturais, aspectos arquitetônicos, material utilizado na camada externa e outros. Na Figura 48 é possível visualizar a boa linearidade do modelo e a possibilidade de distinguir os elementos construtivos, apesar de pequenas falhas no topo da cobertura.



Figura 48 – Caso E.2.3: Apple iPhone 11 Pro Max com 75 fotografias

A melhora do aspecto geral da modelação em relação aos dois casos anteriores deve-se, provavelmente, ao uso das fotografias tiradas a partir de um nível mais elevado. As imagens utilizadas exclusivamente no modelo com 75 fotografias cobrem uma área maior da cobertura

e permitem uma perspectiva maior da estrutura, além da maior sobreposição, melhorando a qualidade global do modelo.

A Figura 49 mostra a qualidade de alguns detalhes obtida neste caso de estudo.



Figura 49 – Qualidade nos detalhes do caso E.2.3

Para comparação de resultados, na Figura 50 mostra-se a medida obtida na parte superior esquerda da cobertura, tal como nos casos anteriores.

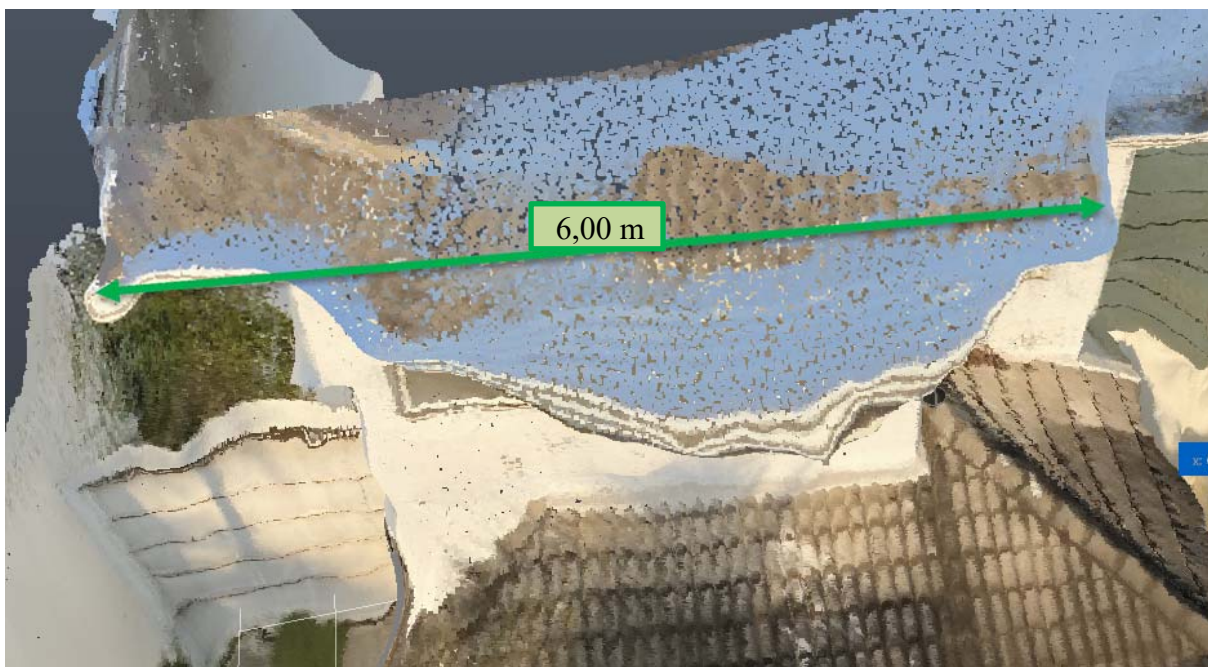


Figura 50 – Medida da cobertura superior esquerda do caso E.2.3

A Figura 51 ilustra a medida da cobertura inferior direita obtida no modelo.

4- Resultados



Figura 51 – Medida da cobertura inferior direita do caso E.2.3

Neste caso, em ambas as medições, apesar da leve deformação da linha da cobertura, a medida obtida apresenta valor extremamente próximo do real.

4.2.3 Caso E.3: Canon EOS Rebel T6

No terceiro caso de estudo foi utilizada a câmera EOS Rebel T6, da fabricante Canon. Esta câmera é a que possui configurações mais robustas e é um modelo muitas vezes utilizado por fotógrafos profissionais. Por este motivo, é esperado como resultado um modelo com mais qualidade e com maior nível de detalhe.

4.2.3.1 Caso E.3.1: 25 fotografias

Assim como nos dois primeiros casos, no primeiro modelo do exterior produzido a partir das fotografias tiradas com esta câmera utilizaram-se apenas 25 fotografias principais do alçado. Apesar do equipamento ser uma câmera profissional, as fotografias tiradas deixaram a desejar na questão de sobreposição. Por se tratar de uma lente com pequena abertura angular, as fotografias abrangiam uma área menor, quando comparadas com as dos outros equipamentos. A Figura 52 ilustra o resultado da modelação deste caso.

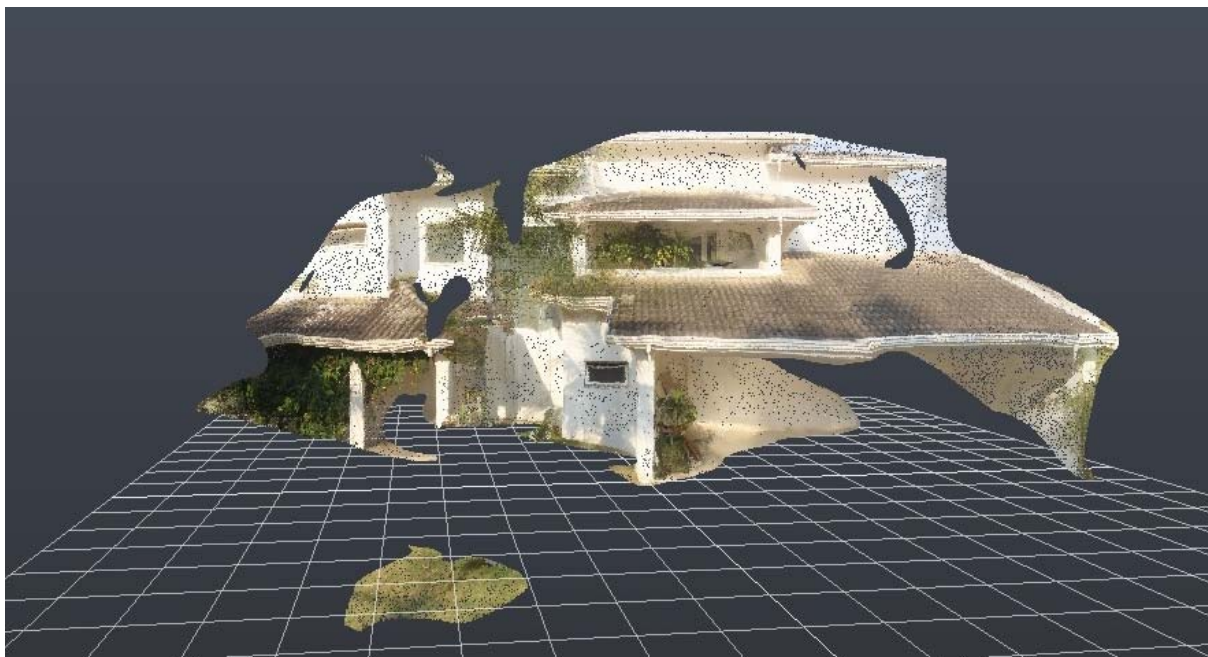


Figura 52 – Caso E.3.1: Canon EOS Rebel T6 com 25 fotografias

O número reduzido de fotografias alinhado com a pequena abertura angular da lente resultou numa nuvem de pontos reduzida, onde é extremamente difícil de se identificar as singularidades do edifício. É possível notar também a inexistência de diversos pontos do alçado, como o jardim, a região lateral esquerda e também a garagem.

Na figura 53 é possível observar a vista superior da nuvem de pontos do edifício.

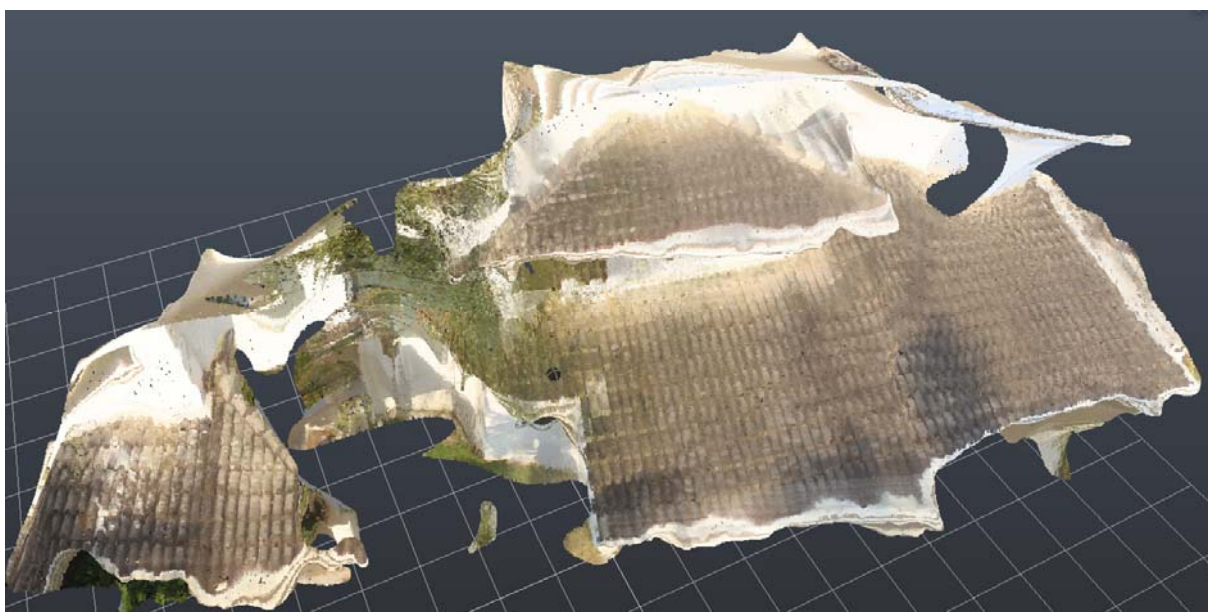


Figura 53 – Vista superior do caso E.3.1

Tendo em conta os problemas citados anteriormente, é possível concluir que o resultado obtido ficou muito abaixo do esperado. Por se tratar do melhor sensor dentre as câmeras, previa-se que a nuvem de pontos seria a de maior qualidade.

4- Resultados

Para o efeito comparativo, não foi possível a obtenção de medidas na cobertura superior esquerda. Sendo assim, neste caso apenas se utiliza a cobertura inferior direita, conforme ilustrado na Figura 54.

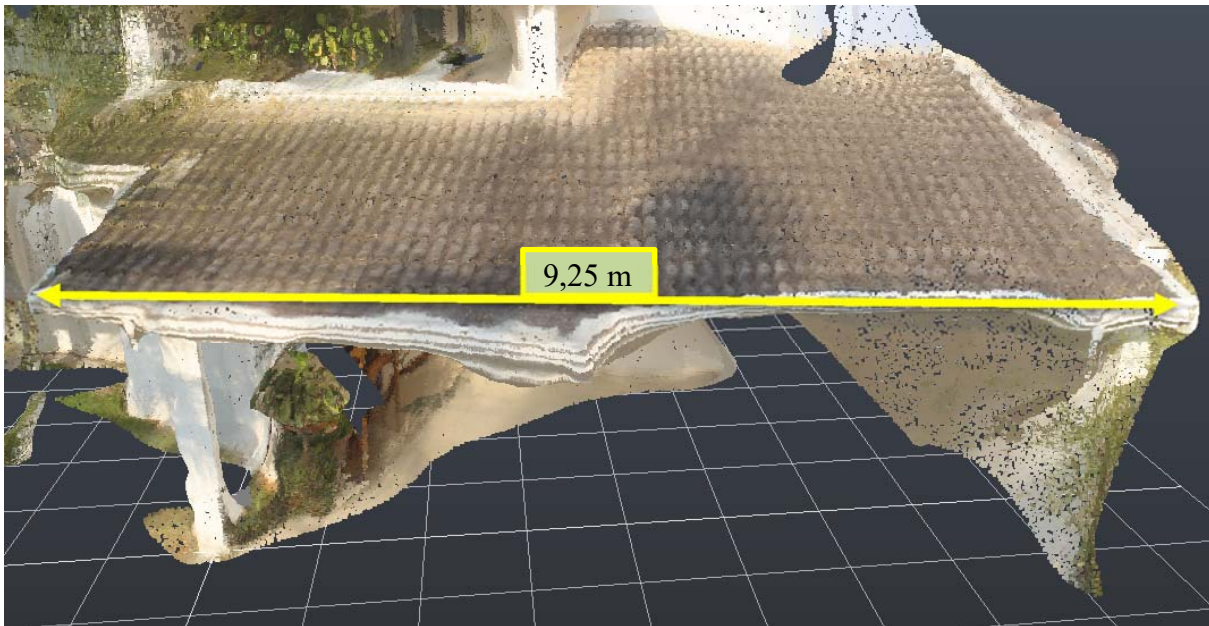


Figura 54 – Medida da cobertura inferior direita do caso E.3.1

Apesar das falhas na geração da superfície, a medida obtida não difere muito da real, que tem 9,50 m.

4.2.3.2 Caso E.3.2: 50 fotografias

A utilização de 50 fotografias para geração da nova nuvem de pontos não resultou numa melhoria significativa, conforme mostrado na Figura 55. O aumento no número de fotografias não necessariamente deveria melhorar a qualidade do modelo neste caso, pois existe uma falta de sobreposição de imagens e não falta de informação sobre a estrutura.



Figura 55 – Caso E.3.2: Canon EOS Rebel T6 com 50 fotografias

Neste caso pode-se notar os mesmos problemas do modelo anterior: muitas partes do alçado não foram identificadas e aparecem vazios na nuvem de pontos. A cobertura está apenas representada por uma pequena parte do seu total, não sendo possível visualizar a garagem nem as regiões mais laterais do edifício. Neste sentido é possível afirmar que o resultado obtido ficou muito abaixo do esperado, pois apesar de o número de imagens ser o dobro do caso anterior a qualidade foi praticamente a mesma.

Na Figura 56 é apresentada uma visualização superior da superfície.

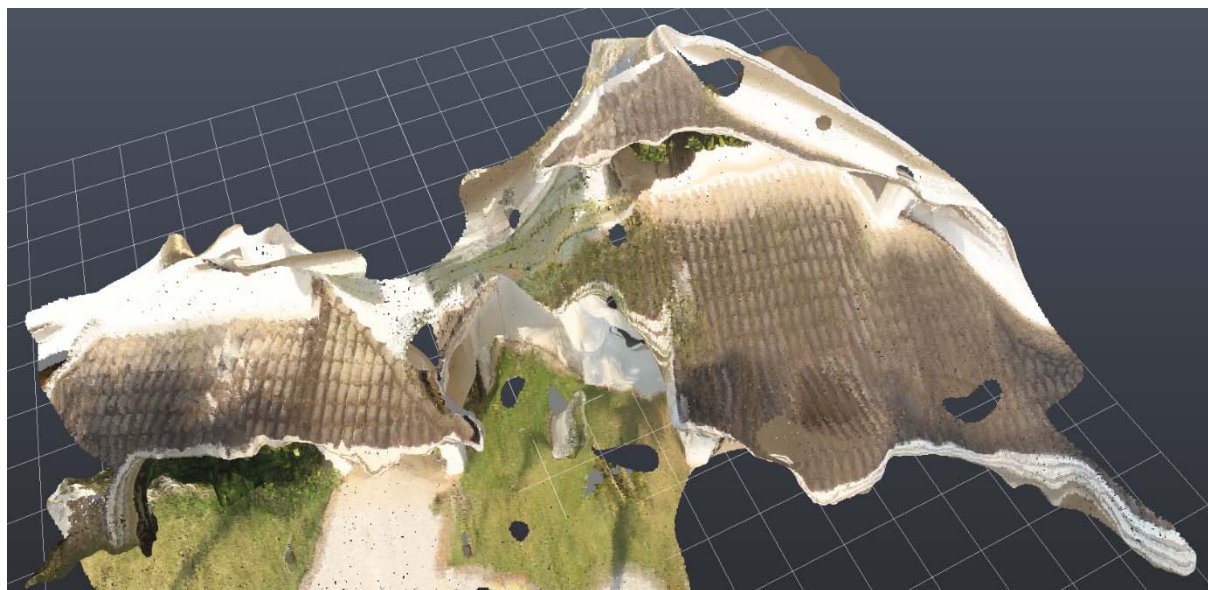


Figura 56 – Vista superior do caso E.3.2

Para a comparação de resultado entre os casos, não foi possível obter a medida da cobertura superior esquerda, pois a nuvem de pontos está incompleta. Sendo assim, neste caso, foi utilizada apenas a medida da cobertura inferior direita (Figura 57).

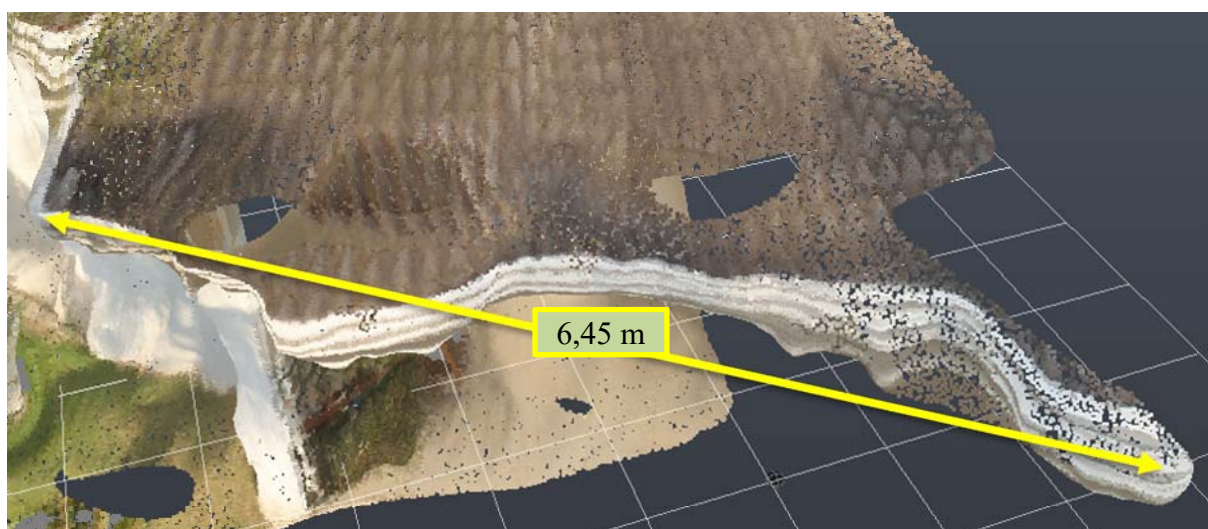


Figura 57 – Medida da cobertura inferior direita do caso E.3.2

4.2.3.3 Caso E.3.3: 75 fotografias

Na terceira nuvem de pontos gerada com este equipamento houve uma melhoria significativa em relação aos casos E.3.2 e E.3.1. No entanto, o resultado ainda ficou abaixo do esperado, tendo em conta a qualidade do equipamento. Apesar da adição das fotografias tiradas em nível elevado ter melhorado a sobreposição, e consequentemente, a qualidade da nuvem de pontos, ainda é difícil de distinguir as singularidades e pormenores do edifício, conforme ilustrado na Figura 58.

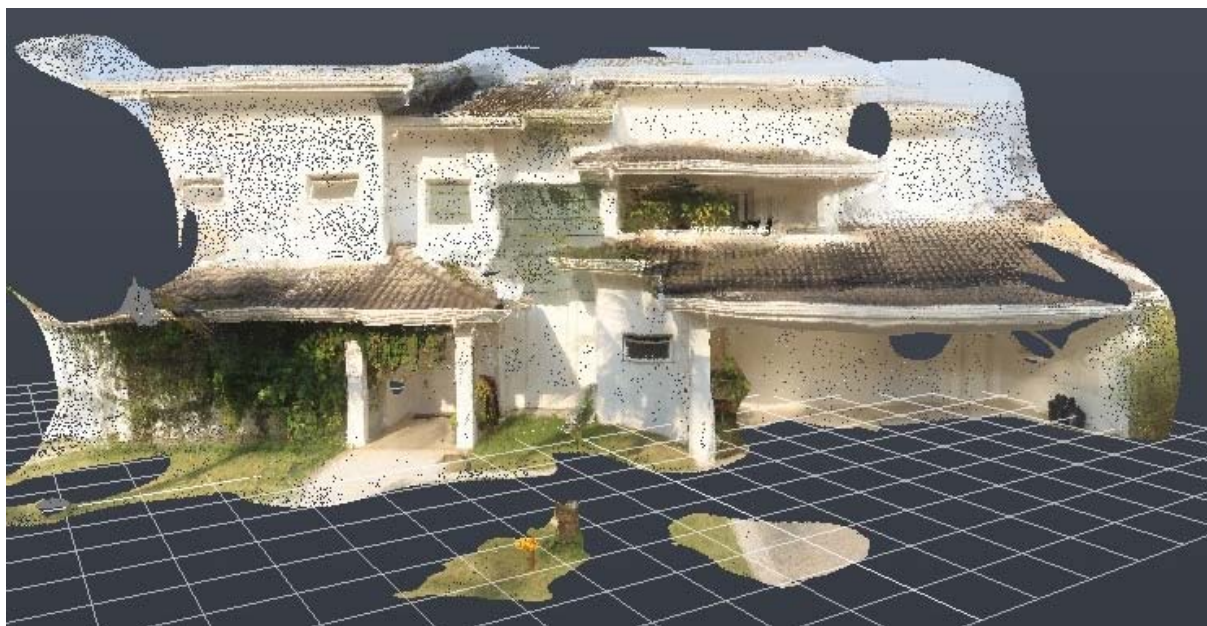


Figura 58 – Caso E.3.3: Canon EOS Rebel T6 com 75 fotografias

Neste modelo é possível notar a melhoria na linearidade e maior abrangência do alçado, ainda que falte o piso da garagem, algumas partes do jardim e também haja buracos na superfície. A cobertura apresentou grande melhoria na composição, mas ainda carece de alguns elementos (Figura 59).

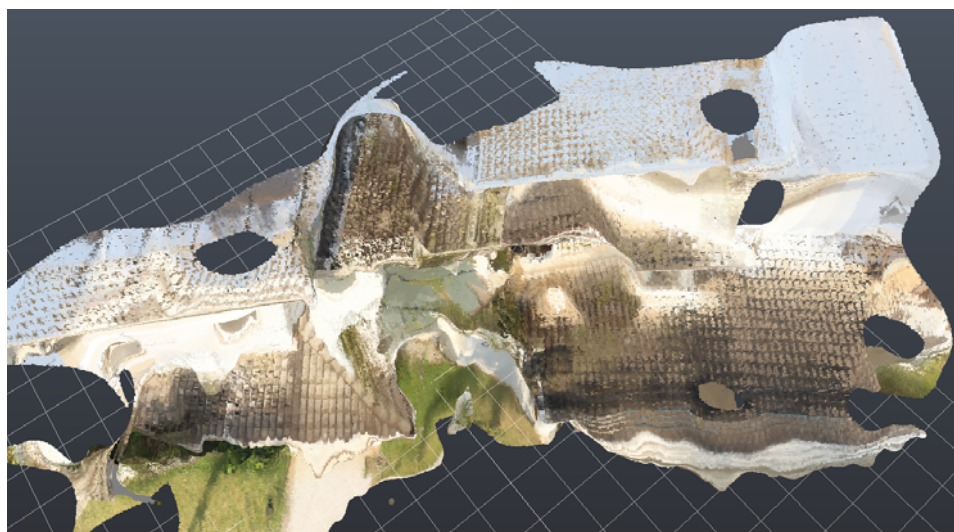


Figura 59 – Vista superior caso E.3.3

Para comparação entre modelos foi tirada a medida da cobertura superior esquerda (Figura 60) e da cobertura inferior direita (Figura 61), tal como nos outros modelos.

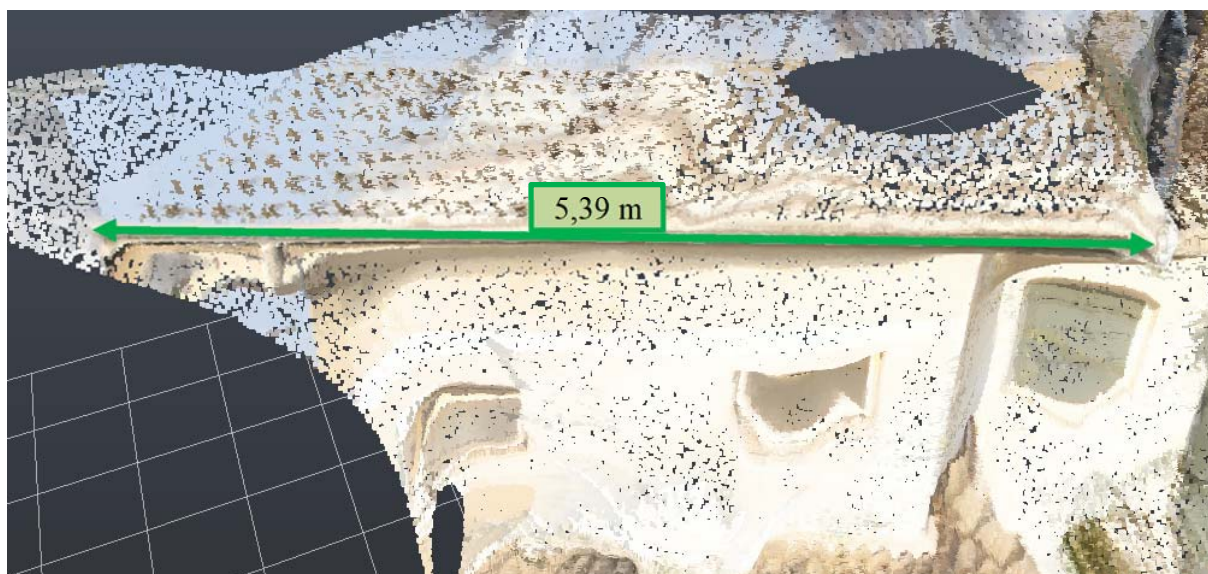


Figura 60 – Medida da cobertura superior esquerda do caso E.3.3

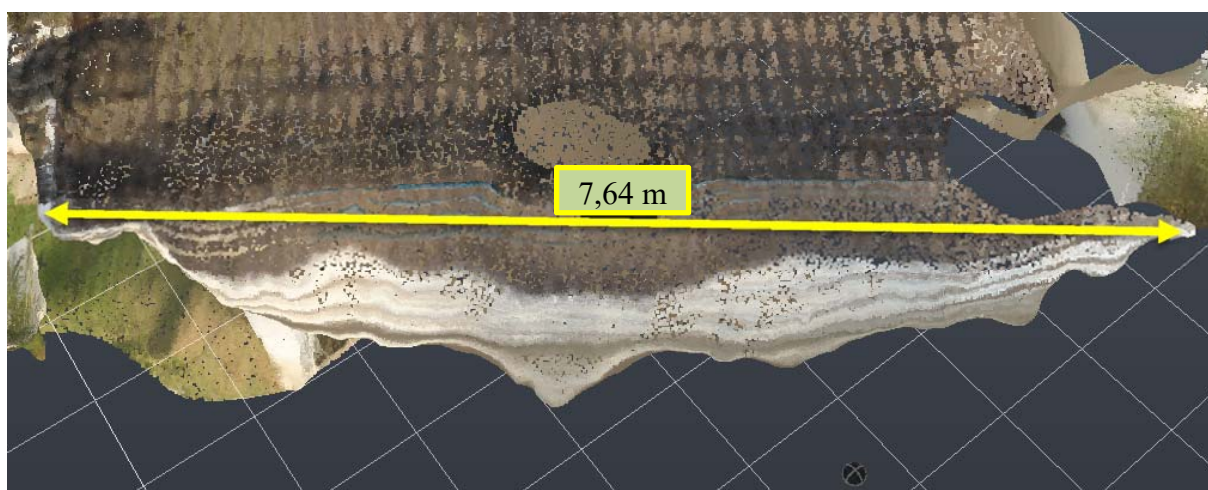


Figura 61 – Medida da cobertura inferior direita do caso E.3.3

Como visto, a medida difere da real e também de algumas das obtidas anteriormente, evidenciando problemas relevantes de distorção do modelo.

4.2.4 Síntese

Com base em todos os modelos apresentados anteriormente, foi criada uma matriz 3x3 (Figura 62) para o resultado final da modelação e mais duas (figuras 63 e 64) mostrando as medidas obtidas no software, afim sintetizar os resultados obtidos e facilitar a sua comparação.

4- Resultados

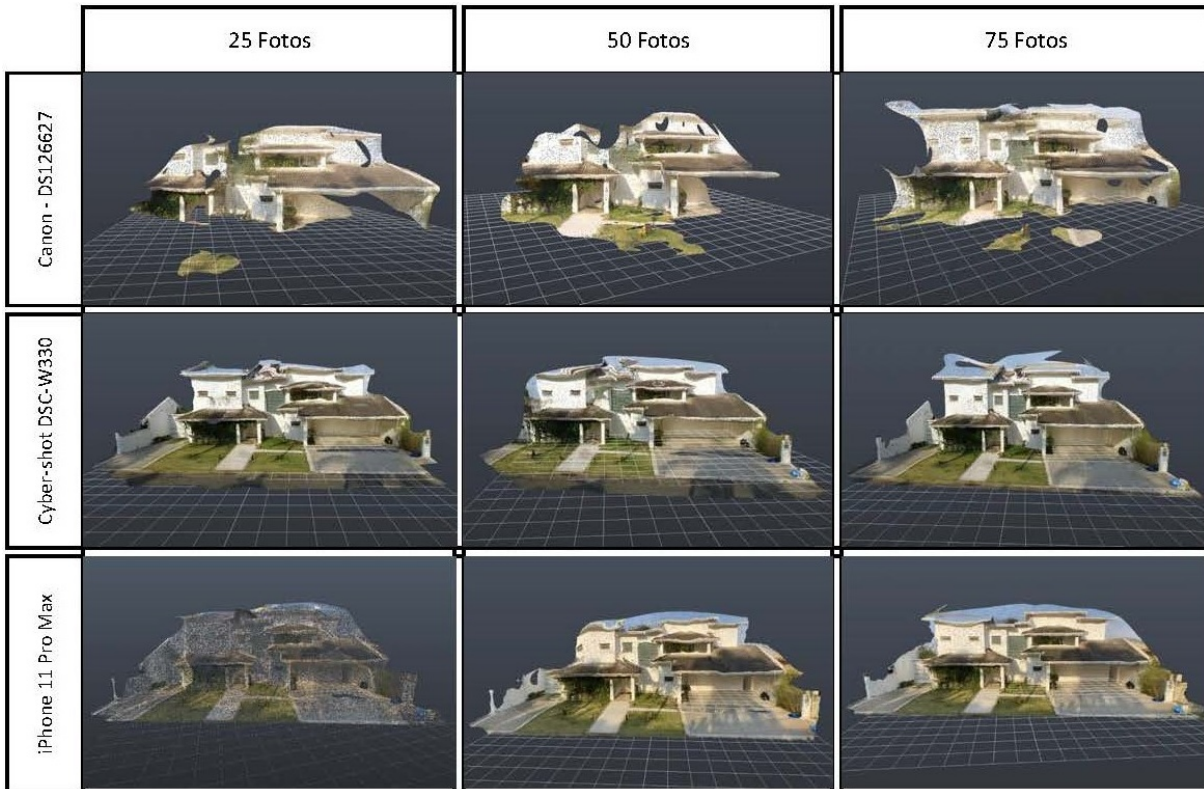


Figura 62 – Matriz de comparação de resultados - Caso externo

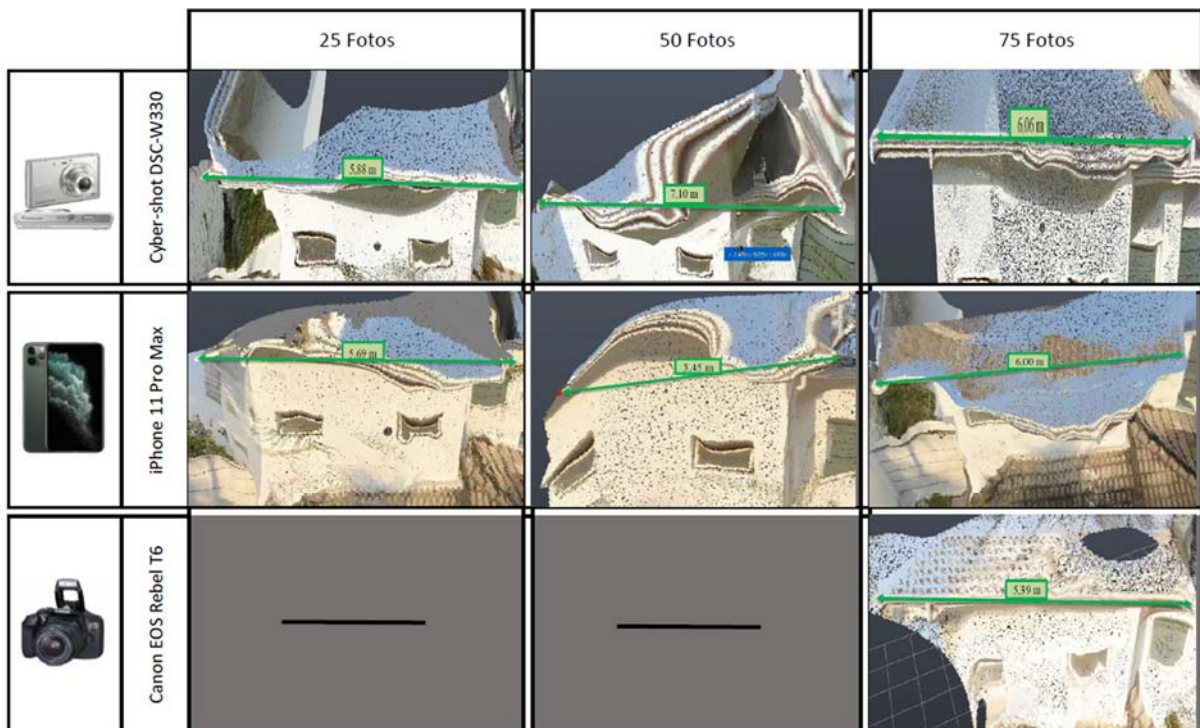


Figura 63 – Comparação de medidas cobertura superior esquerda



Figura 64 – Comparação de medidas cobertura inferior direita

Nos três casos de estudo pode-se observar a evolução da qualidade dos modelos gerados em função do aumento do número de fotografias utilizadas. Neste sentido, é possível afirmar que para o caso apresentado, a análise de sensibilidade em relação à quantidade de fotografias utilizadas para a criação de nuvens de pontos mostrou uma relação positiva entre o número de fotografias inseridas e o aumento da qualidade do modelo.

Além da quantidade de fotografias, a escolha do equipamento a ser utilizado também afeta o resultado obtido. Mesmo com o uso de uma câmera profissional, a escolha de uma lente não adequada pode limitar o ângulo das fotografias tiradas e impedir a criação de uma nuvem de pontos completa. Assim, é possível concluir que a sobreposição é indispensável para a geração de um bom modelo, mas por si só não garante um bom resultado; é preciso que as imagens contenham informação suficiente para que o programa possa identificar alguns pontos em comum e gerar uma nuvem de pontos com qualidade.

4.3 Caso A.1: Tomada aérea

Após a realização de todos os ensaios terrestres foi feito um ensaio com o drone R'Bird Blackmaster acoplado da câmera GoPro Hero 5. Como resultado da dificuldade em operar o equipamento, o número de fotografias elegíveis para inserção no modelo foi reduzido e abaixo do mínimo necessário para a criação do modelo (20 fotografias). Para resolver essa limitação, houve a necessidade de aumentar o número de fotografias a partir das 15 que já existiam. Assim, as 5 melhores fotografias foram selecionadas, editadas – cortando as edificações vizinhas e

4- Resultados

realizando a rotação para alinhar com as demais – e salvas novamente, permitindo atingir as 20 imagens necessárias para a criação da nuvem de pontos.

A partir dos ajustes realizados nas fotografias, foi gerado o modelo da cobertura do edifício (Figura 65). Mesmo com o número limitado de fotografias e as dificuldades em pilotar o drone, o resultado foi bastante interessante.

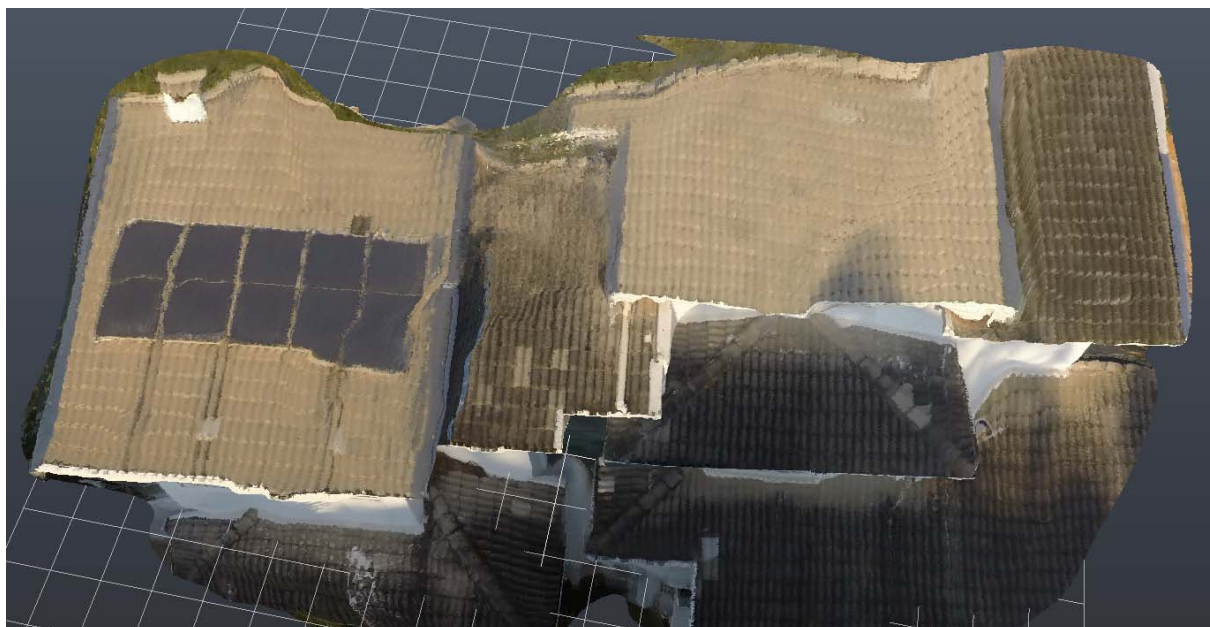


Figura 65 – Caso A.1: Vista da cobertura

Para calibração da escala foi utilizada a parte superior esquerda da cobertura, com comprimento de 6,0 m, conforme indicado na Figura 66.



Figura 66 – Medida de calibração do caso A.1: cobertura superior esquerda

Com base na calibração da escala foi possível então obter-se algumas medidas adicionais da cobertura para aferir a qualidade da nuvem de pontos. Assim, para a análise de sensibilidade do

método, foi tirada a medida real de outra parte da cobertura a fim de ser comparada com a medida obtida no modelo (Figura 68).

A medida real da cobertura intermediária direita tem 6,10 m de comprimento, e está representada na Figura 67.



Figura 67 – Medida obtida no local: cobertura intermédia do lado direito

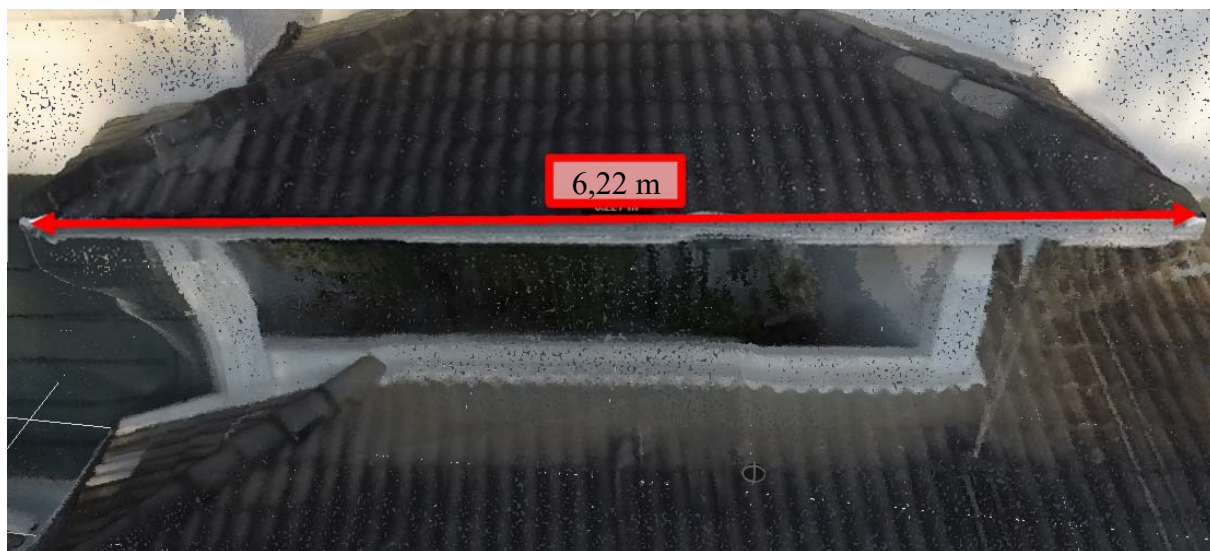


Figura 68 – Medida obtida no Autodesk ReCap Pro: cobertura intermédia do lado direito

Como mostrado anteriormente as medidas real e virtual não se diferenciam muito, validando a eficiência do método e abrindo espaço para o desenvolvimento de modelos mais detalhados a partir da inserção de um maior número de imagens.

4.4 Modelo Interno

O caso de estudo interno resultou na criação de 9 nuvens de pontos diferentes entre si tanto pelo equipamento utilizado quanto pela hora em que as fotografias foram tiradas. Estas nuvens de pontos foram analisadas em relação à sua qualidade de representar a realidade.

4.4.1 Caso I.1: Sony Cyber-shot DSC-W330

Para o primeiro caso de estudo foi utilizada a câmera Sony Cyber-shot DSC-W330, dividindo-se a apresentação dos resultados em função dos 3 momentos do dia em que as fotografias foram tiradas. Por ser a câmera mais antiga, era esperada maior dificuldade na geração da nuvem de pontos em relação aos outros equipamentos.

4.4.1.1 Caso I.1.1: período da manhã

Com o uso de imagens tiradas apenas na parte da manhã, que conta com alta incidência de luz solar, foi gerado o primeiro modelo deste caso de estudo. A nuvem de pontos gerada mostrou-se bastante completa e com bom nível de detalhe, apesar de alguns pontos onde havia reflexo da luz do sol não terem sido identificados pelo programa. O modelo da nuvem de pontos está representado na Figura 69.



Figura 69 – Nuvem de pontos do caso I.1.1

No lado esquerdo da imagem encontra-se a parede que é virada para a janela por onde entra a luz. Por este motivo, o reflexo é maior e o programa não conseguiu identificá-la corretamente. Além disso, é possível notar que o pavimento cerâmico aparece apenas em algumas zonas do modelo, provavelmente, também devido às reflexões.

Para efeito de comparação, o primeiro pormenor analisado foi a região da parede frontal com acessórios (Figura 70).



Figura 70 – Acessórios da parede para o caso I.1.1

Conforme visto na imagem é possível identificar os objetos com algum nível de detalhe, mas sem perspectiva de profundidade e algumas falhas na linearidade do mesmo.

Na Figura 71 pode-se notar que a árvore de natal apresentou um resultado muito semelhante aos acessórios de parede. Apesar da resolução permitir a distinção de detalhes, o efeito de profundidade não foi conseguido e a imagem ficou escura em alguns pontos.



Figura 71 – Árvore de natal para o caso I.1.1

4- Resultados

Para o terceiro ponto de comparação, a mesa de centro, o resultado ficou ainda mais distante do esperado. A baixa concentração de pontos no local fez com que muitas partes da mesa não aparecessem no modelo, o que a tornou bastante deformada. Na Figura 72 é possível ver a dificuldade de se identificar os detalhes e até a forma original da mesma.

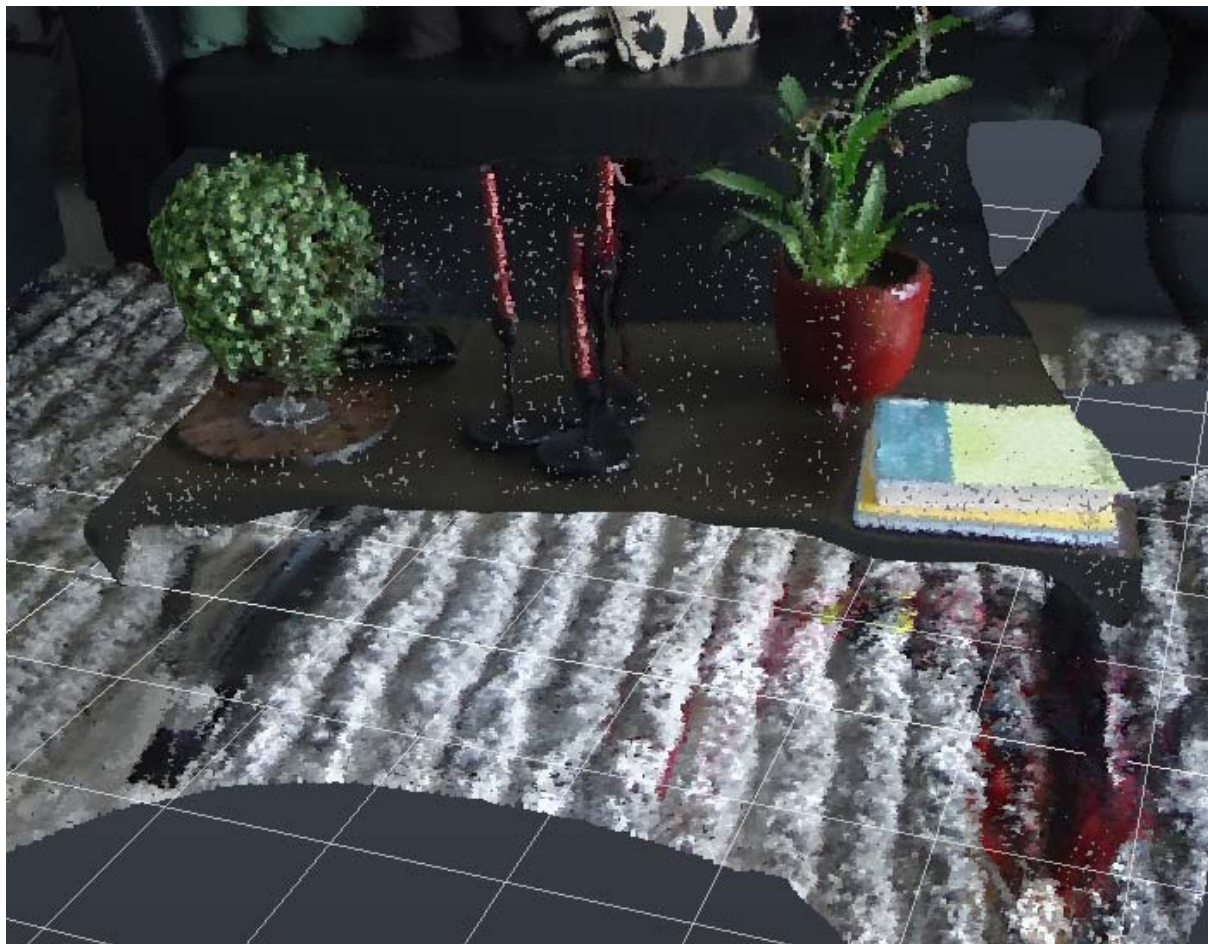


Figura 72 – Mesa de centro para o caso I.1.1

De forma geral, no caso I.1 a incidência direta de luz pode ter atrapalhado a captura das fotografias, pois a câmera tenta compensar a quantidade de iluminação absorvida pela lente através de seu software. Com a alta incidência de luz, a velocidade do obturador aumenta e menos informação consegue ser adquirida a cada fotografia, piorando a qualidade das imagens. Para além disso, a existência de reflexões nas fotografias cria dificuldades óbvias ao algoritmo de criação da nuvem de pontos.

4.4.1.2 Caso I.1.2: período da tarde

As fotografias tiradas no período da tarde buscaram variar a incidência de luz no ambiente, abordando de outra forma o caso de estudo. O nível de detalhes mostrou-se muito similar ao caso I.1.1, porém houve uma grande melhoria na questão da área abrangida pelo modelo. Como a incidência de luz não era direta, alguns pontos que antes apresentavam reflexões foram identificados pelo programa e, portanto, a nuvem de pontos ficou mais completa (Figura 73).



Figura 73 – Nuvem de pontos do caso I.1.2

O aspeto geral do modelo melhorou em relação ao anterior, apesar da alteração da luz ter criado alguns pontos de sombreamento, como na parte que está acima da linha superior da janela. Mesmo com o sombreamento ainda é possível identificar os pormenores referidos anteriormente. A Figura 74 mostra os acessórios de parede.



Figura 74 – Acessórios da parede para o caso I.1.2

Assim como no caso anterior, é possível identificar os objetos com algum nível de detalhe, mas a imagem está escura e sem perspectiva de profundidade.

A árvore de natal apresentou uma degradação da sua qualidade (Figura 75). A diminuição da luz diminuiu a capacidade de se diferenciar os detalhes da região, pois o local apresenta muito ruído. Além disso, a definição está baixa, criando algumas ondulações na região.

4- Resultados



Figura 75 – Árvore de natal para o caso I.1.2

A mesa de centro manteve o padrão do caso I.1.1, com muitas falhas na sua superfície e baixa densidade de pontos (Figura 76). Os detalhes aparecem com reduzida qualidade, sendo difícil identificá-los.

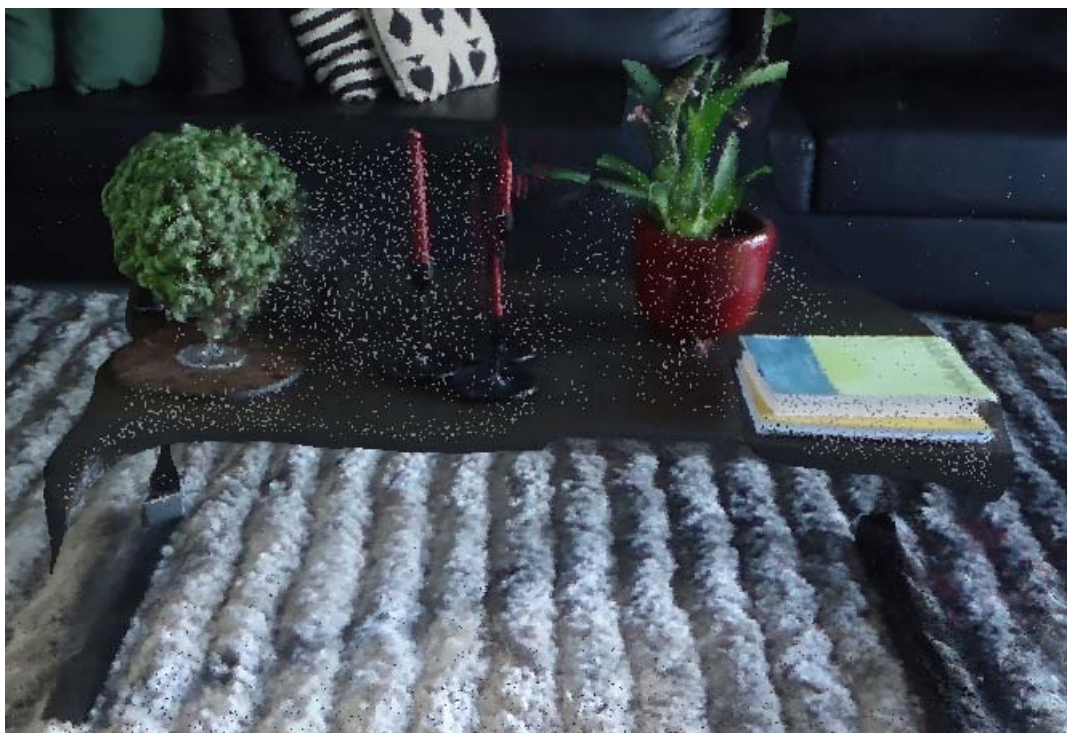


Figura 76 – Mesa de centro para o caso I.1.2

4.4.1.3 Caso I.1.3: período noturno

Para o terceiro caso interno as fotografias foram tiradas durante a noite, ou seja, apenas com luz artificial. A fonte artificial ilumina pouco, e faz com que as fotografias percam a nitidez e qualidade, prejudicando o resultado da nuvem de pontos. Na Figura 77 é possível ver que apesar de quase não apresentar buracos na sua superfície, a nuvem de pontos teve sua qualidade muito reduzida em relação às anteriores.

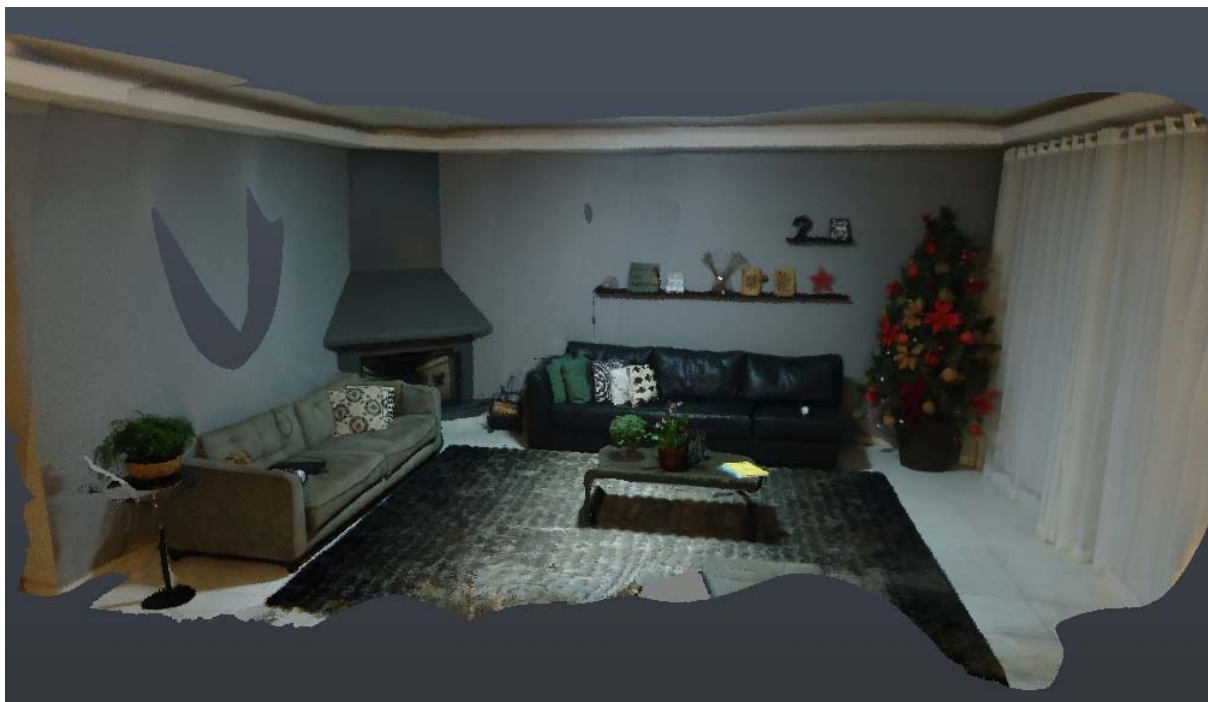


Figura 77 – Nuvem de pontos do caso I.1.3

No detalhe dos acessórios da parede (Figura 78) é visível como a qualidade diminuiu neste caso de estudo, e a perspectiva de profundidade dos objetos é praticamente inexistente.



Figura 78 – Acessórios da parede para o caso I.1.3

Na árvore de natal (Figura 79) a imagem ficou muito escura e com baixa qualidade, permitindo apenas ter um esboço do que existe realmente no local. No modelo de nuvem de pontos também

4- Resultados

é possível ver como a superfície da árvore se mistura com a parede atrás dela, devido à falta de nitidez das fotografias tiradas.



Figura 79 – Árvore de natal para o caso I.1.3

Ao contrário dos outros dois pontos de comparação, a mesa de centro (Figura 80) apresentou uma ligeira melhoria na sua constituição. A densidade de pontos aumentou e permitiu que a visualização de alguns detalhes melhorasse, além de apresentar menos buracos e falhas na sua criação.



Figura 80 – Mesa de centro para o caso I.1.3

4.4.2 Caso I.2: Apple iPhone 11 Pro Max

Para o segundo caso de estudo foram utilizadas as imagens obtidas com a câmera integrada do Apple iPhone 11 Pro Max, dividido também em 3 subtópicos de acordo com o período do dia em que o ensaio foi realizado. A câmera do iPhone possui ótima qualidade para captura de fotografias e apresentou bons resultados para a correção de cor e iluminação.

4.4.2.1 Caso I.2.1: período da manhã

Com incidência direta de luz, as fotografias tiradas no período da manhã apresentam alta nitidez e boa qualidade de detalhes. Essas fotografias foram utilizadas para gerar o modelo do caso I.2.1, mostrado na Figura 81.



Figura 81 – Nuvem de pontos do caso I.2.1

4- Resultados

Assim como no caso I.1.1, também com este equipamento apareceram alguns espaços vazios, especialmente nas zonas onde há reflexões. Apesar destas falhas na parede oposta à janela e no piso, a qualidade geral do modelo, a iluminação, a cor e a nitidez ficaram dentro do esperado para o caso. A comparação das zonas dos pormenores está apresentada nas Figuras 82, 83 e 84.



Figura 82 – Acessórios da parede para o caso I.2.1

Os acessórios na parede apresentaram leve distorção na sua linearidade e a qualidade está num nível intermédio, sendo possível identificar os elementos, mas sem poder distinguir os pormenores de cada um.



Figura 83 – Árvore de natal para o caso I.2.1

A árvore de natal apresentou boa iluminação dos detalhes e isso facilitou a sua visualização. Embora apresente alguns borrões na parte superior esquerda, a nuvem de pontos está bem densa e não mostra falhas.



Figura 84 – Mesa de centro para o caso I.2.1

A região da mesa de centro manteve o padrão dos casos anteriores e apresentou baixa densidade de pontos, ainda que a iluminação tenha permitido a criação de objetos com boa nitidez: mesmo que com alguma dificuldade, é possível determinar quais os objetos que estão sobre a mesa.

4.4.2.2 Caso I.2.2: período da tarde

O resultado deste caso foi muito similar ao I.2.1, quer na iluminação, quer relativamente à área abrangida pela nuvem de pontos. Os detalhes foram bem apresentados, com boa definição e as cores e nitidez revelaram aspecto satisfatório. Na Figura 85 é possível ver que novamente a parede do lado esquerdo apresentou falhas na sua constituição, mas o piso por sua vez ficou bem definido. No teto, houve uma grande distorção dos elementos.

4- Resultados



Figura 85 – Nuvem de pontos para o caso I.2.2

Os detalhes de comparação seguiram a mesma linha, apresentando um resultado similar ao caso anterior. Tanto os acessórios na parede (Figura 86), como a árvore de natal (Figura 87) e a mesa de centro (Figura 88) apresentaram boa qualidade de detalhes, cor nítida e boa concentração de pontos no local.



Figura 86 – Acessórios da parede para o caso I.2.2



Figura 87 – Árvore de natal para o caso I.2.2

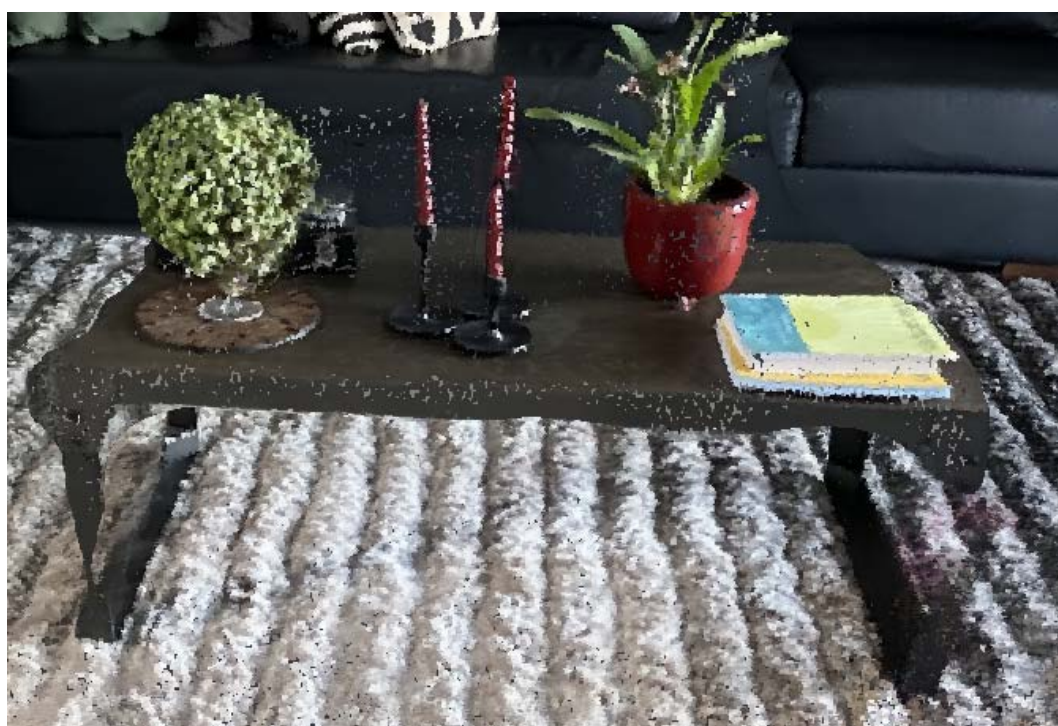


Figura 88 – Mesa de centro para o caso I.2.2

4.4.2.3 Caso I.2.3: período noturno

O último caso de captura com o iPhone ocorreu no período da noite, com luz artificial. O balanço de brilho automático do equipamento permitiu que as fotografias ficassem suficientemente nítidas e evitou que o modelo ficasse escuro. Na Figura 89 apresenta-se a nuvem de pontos obtida neste caso.



Figura 89 – Nuvem de pontos para o caso I.2.3

Mesmo com o ensaio ocorrendo no período da noite, ainda houve o erro na formação da parede lateral esquerda, causada provavelmente pela dificuldade de interpretação das imagens pelo software. A densidade de pontos está um pouco mais baixa do que nos outros casos, perceptível principalmente na cortina na lateral direita.

Para o primeiro caso de comparação, os acessórios da parede (Figura 90) ficaram com a qualidade mediana. A linearidade está boa e a sombra criada pela iluminação passa uma sensação de profundidade maior do que a existente no modelo.



Figura 90 – Acessórios da parede para o caso I.2.3

A árvore de natal mostrada na Figura 91 apresenta boa definição nos detalhes e na cor. No canto superior direito percebe-se que houve a dificuldade do software em gerar a superfície, misturando os elementos parede e cortina com a árvore. Ainda que com essas pequenas falhas no local, o resultado encontra-se dentro do esperado face às condições em que decorreu o ensaio.



Figura 91 – Árvore de natal para o caso I.2.3

A mesa de centro mostrada na Figura 92 apresentou uma densidade de pontos menor do que a esperada, mas, mesmo assim, permite a identificação dos objetos e apresenta uma boa linearidade.



Figura 92 – Mesa de centro para o caso I.2.3

4.4.3 Caso I.3: Canon EOS Rebel T6

O último caso de estudo deste trabalho foi criado a partir do ensaio fotográfico realizado com a câmera da marca Canon. Por se tratar de uma câmera profissional, é esperado um bom resultado para as nuvens de pontos geradas, com boa iluminação, boa distinção dos detalhes e cores nítidas.

4.4.3.1 Caso I.3.1: período da manhã

O último ensaio realizado no período da manhã resultou num modelo muito parecido com o caso I.1.1, com diversas falhas nas paredes e no pavimento cerâmico (Figura 93). Apesar das falhas, a alta definição da câmera fez com que o modelo apresentasse um elevado nível de detalhes, sendo possível até identificar as palavras escritas nos acessórios da parede (Figura 94).

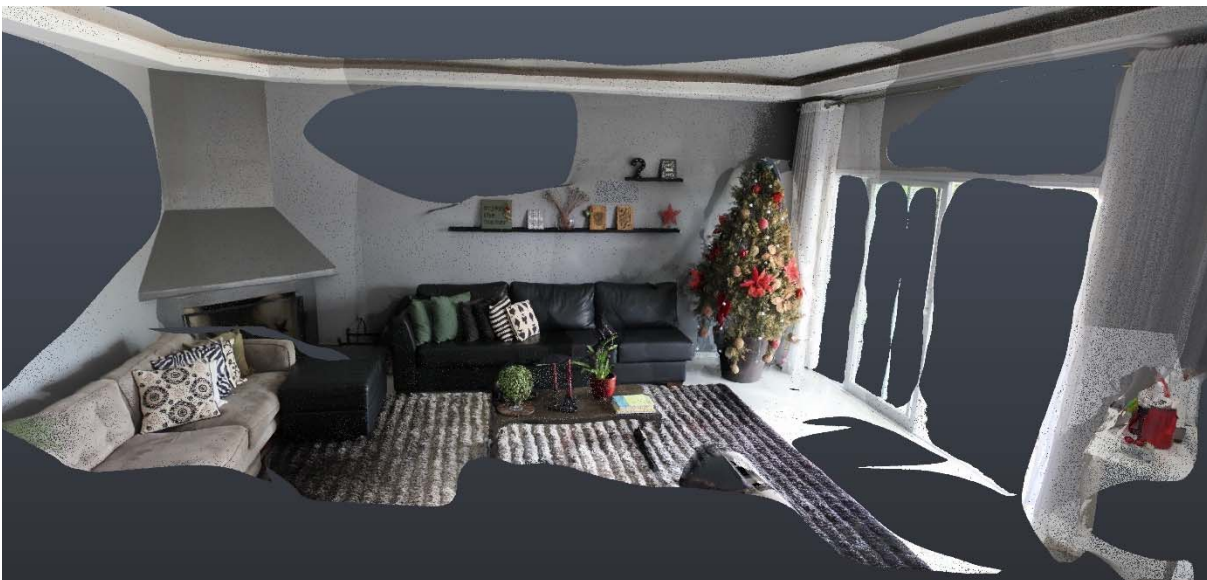


Figura 93 – Nuvem de pontos para o caso I.3.1

Mesmo com a falha na parede logo ao lado dos acessórios, a sua base ficou bastante linear e quase não houve distorção dos elementos.



Figura 94 – Acessórios da parede para o caso I.3.1

Relativamente à árvore de natal (Figura 95) observou-se uma melhoria considerável em relação aos outros casos, principalmente na sua superfície, que acompanhou bem quer os detalhes, quer as texturas.



Figura 95 – Árvore de natal para o caso I.3.1

A mesa de centro, mostrada na Figura 96, ficou com baixa densidade de pontos e com boa iluminação. Está bem nítida e os detalhes estão com qualidade muito boa, sendo facilmente identificados. O resultado ficou acima do esperado neste caso.

4- Resultados



Figura 96 – Mesa da centro para o caso I.3.1

4.4.3.2 Caso I.3.2: período da tarde

Com as fotografias tiradas no período da tarde o modelo também apresentou bastante falhas: as paredes do lado esquerdo e muitas partes do pavimento cerâmico não foram geradas de acordo com o esperado. Por este motivo, o resultado geral ficou abaixo do esperado, ainda que o nível de detalhes e a iluminação tenham ficado bons. Na Figura 97 mostra-se a nuvem de pontos do caso I.3.2.

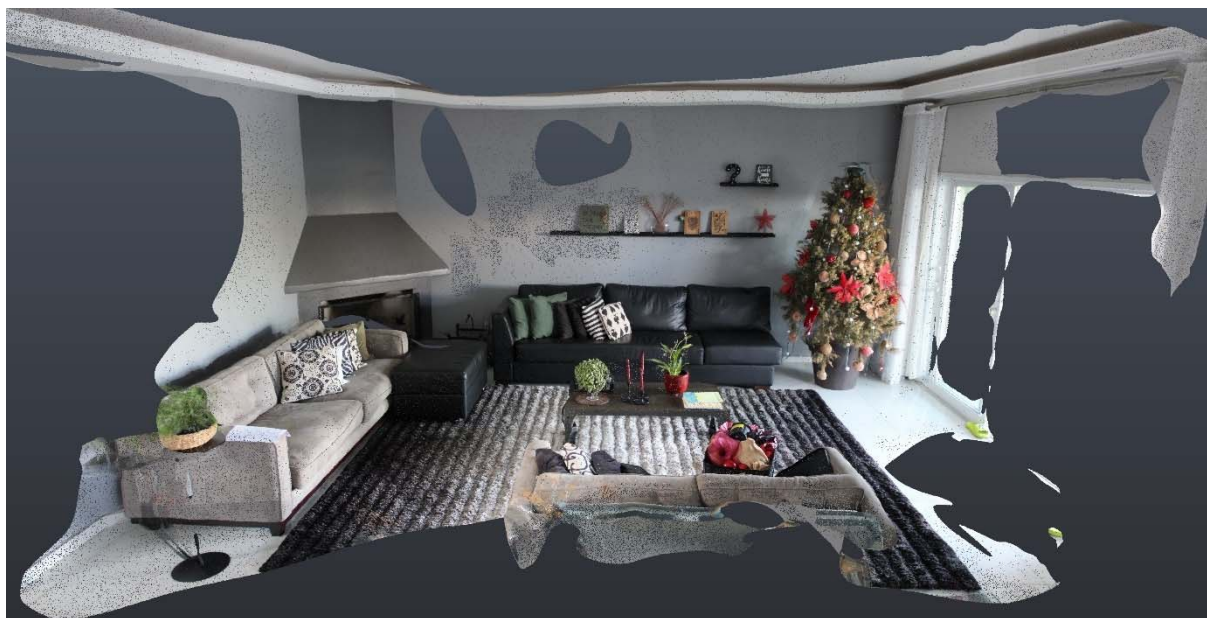


Figura 97 – Nuvem de pontos para o caso I.3.2

Tal como no caso I.3.1, os acessórios da parede e a árvore de natal tem um aspecto muito bom, estão bem definidos e apresentam uma qualidade elevada nos detalhes. A mesa de centro

apresentou uma melhoria relativamente ao último caso, principalmente por aumentar a concentração de pontos no local. Os acessórios da parede serão mostrados na Figura 98.

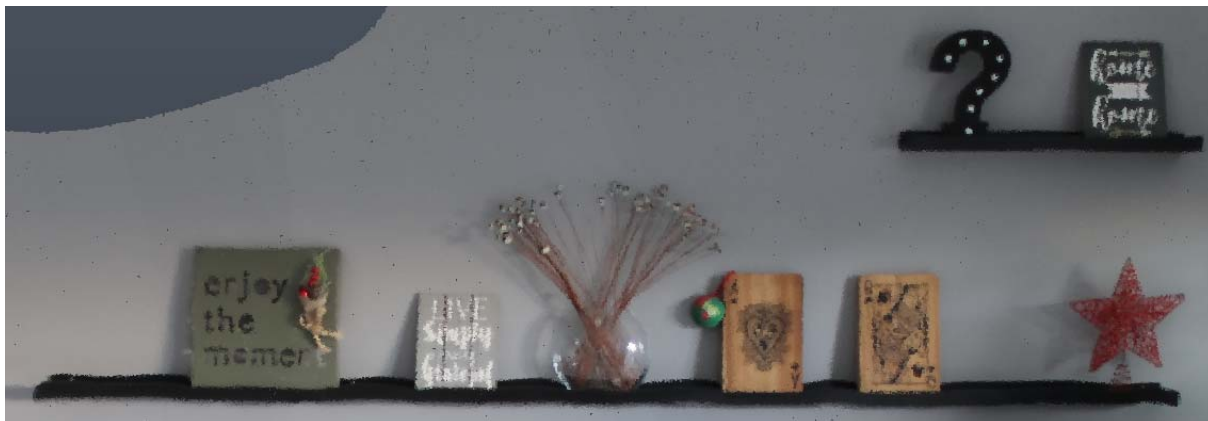


Figura 98 – Acessórios da parede para o caso I.3.2

Conforme visto na figura acima, o local não apresenta deformações relevantes e a base está bastante linear. É possível ver com clareza os pormenores da região e a perspectiva de profundidade está boa.

Assim como nos acessórios da parede, a árvore de natal também apresentou um resultado de acordo com o esperado. Como pode ser visto na Figura 99, os detalhes estão bem definidos e a iluminação está boa.



Figura 99 – Árvore de natal para o caso I.3.2

4- Resultados

Já na mesa de centro (Figura 100) observou-se uma melhoria na densidade de pontos e os detalhes estão agora bem definidos. A mesa foi gerada praticamente sem falhas, não apresentando distorção nos limites, nem alteração na linearidade.

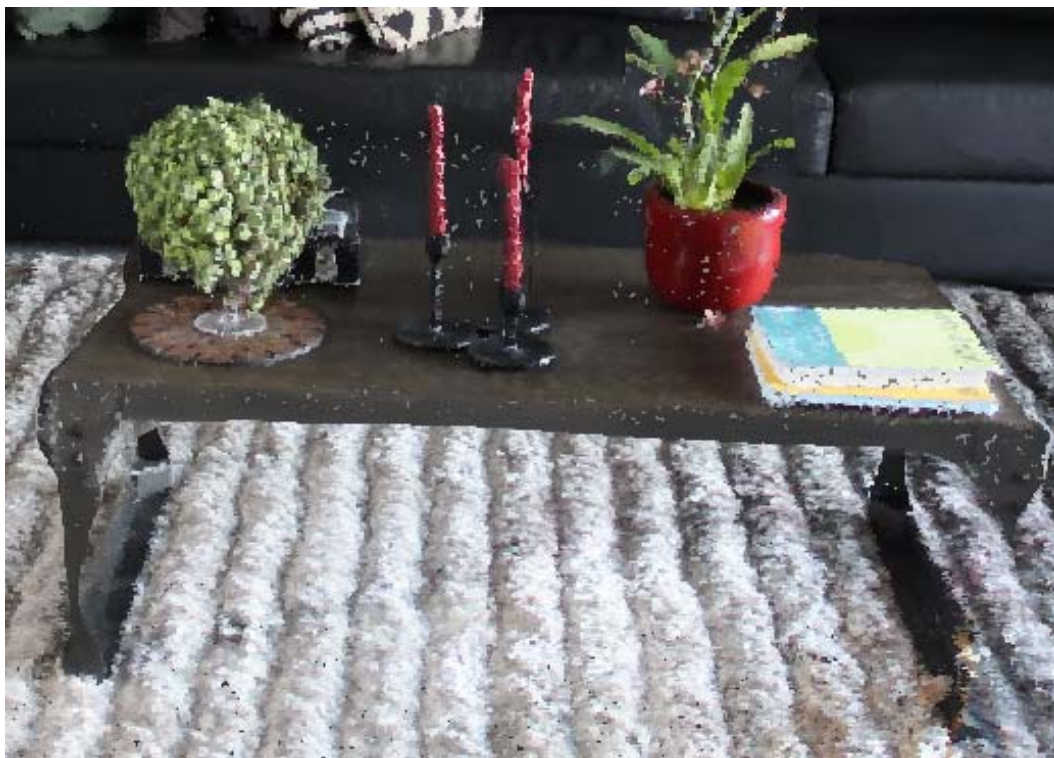


Figura 100 – Mesa de centro para o caso I.3.2

4.4.3.3 Caso I.3.3: período noturno

No modelo gerado no período noturno o resultado ficou abaixo do esperado. Não houve grande desenvolvimento dos detalhes na nuvem de pontos e a área abrangida também ficou reduzida. Os pormenores do modelo estão ligeiramente desfocados e a iluminação é insuficiente em alguns pontos, ainda que a cor apresente bom aspecto. Pelo lado positivo, a nuvem de pontos está densa e linear. Na Figura 101 está apresentada a nuvem de pontos para o caso I.3.3.

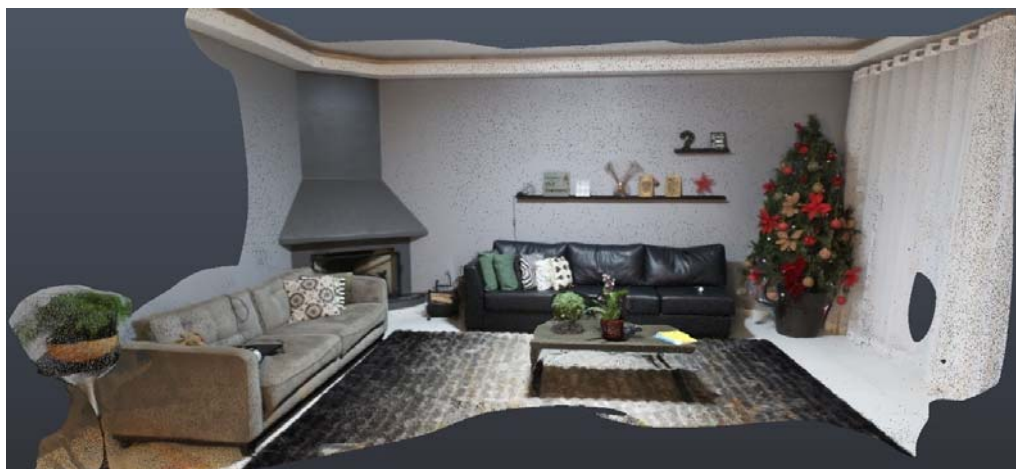


Figura 101 – Nuvem de pontos para o caso I.3.3

Para efeito de comparação, os acessórios da parede estão desfocados e difíceis de distinguir mas apresentam boa linearidade de cor. A concentração de pontos no local é elevada e a perspectiva de profundidade está boa, conforme visto na Figura 102.



Figura 102 – Acessórios da parede para o caso I.3.3

A árvore de natal e a mesa de centro apresentam aspeto semelhantes entre si, os dois apresentaram problemas na sua geração e não representam corretamente os seus pormenores. Nas Figuras 103 e 104 são mostradas a árvore de natal e a mesa de centro, respetivamente.



Figura 103 – Árvore de natal para o caso I.3.3

4- Resultados



Figura 104 – Mesa de centro para o caso I.3.3

4.4.4 Síntese

Considerando todos os casos de estudos apresentados para o modelo interno, foi criada uma matriz para facilitar a comparação entre os mesmos (Figura 105).

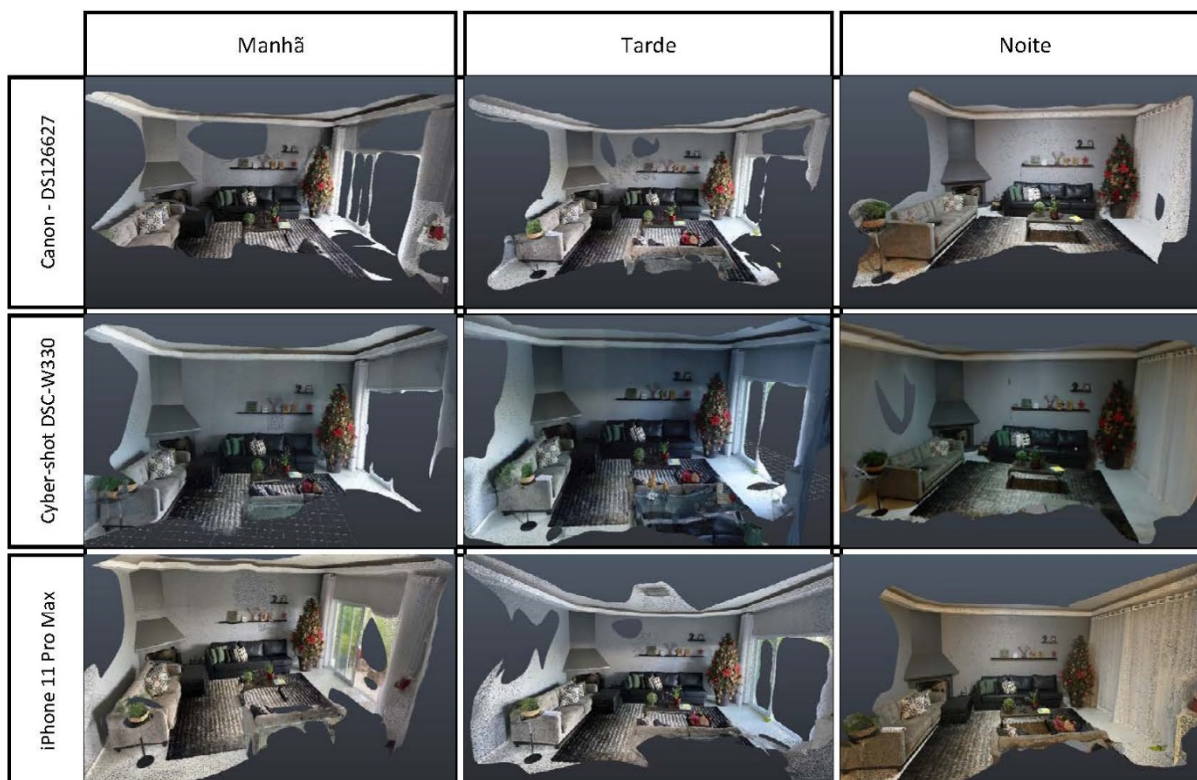


Figura 105 – Matriz de comparação de resultados - Caso interno

Assim como no caso externo, as medidas comparativas também foram sintetizadas em forma de matriz, para facilitar a visualização das principais diferenças entre cada modelo. A figura 106 mostra os resultados na região dos enfeites na parede; a figura 107 a árvore de natal e a figura 108 a mesa de centro.

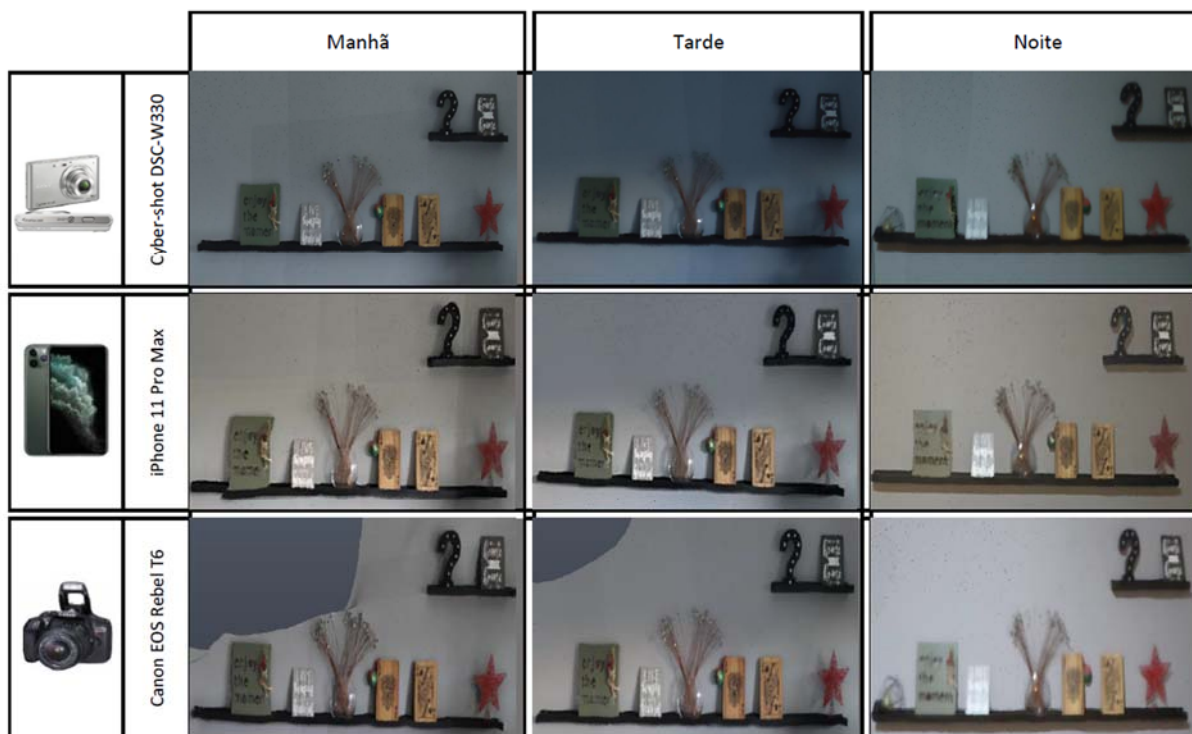


Figura 106 – matriz de comparação: acessórios na parede

4- Resultados

		Manhã	Tarde	Noite
	Cyber-shot DSC-W330			
	iPhone 11 Pro Max			
	Canon EOS Rebel T6			

Figura 107 – Matriz de comparação: árvore de natal

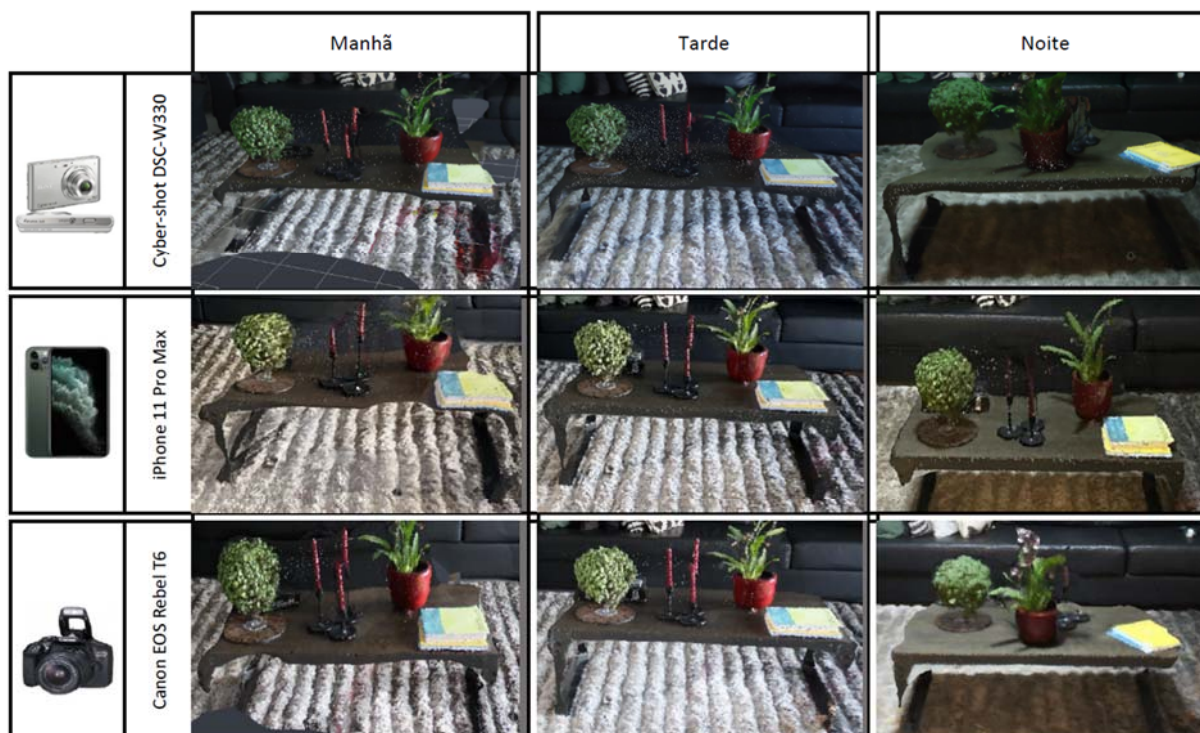


Figura 108 – Matriz de comparação: mesa de centro

Para os três casos de estudo pode-se visualizar um melhor desempenho no nível de detalhe para os ensaios que foram realizados durante o período da manhã. Nesse sentido, é possível afirmar que a luminosidade do local fotografado é fundamental para o sucesso do resultado. Verifica-se ainda que a capacidade das câmeras de registrar os pormenores e transmiti-los com nitidez é muito importante para a qualidade final da nuvem de pontos. Já em relação à área de cobertura, supõe-se que a luz indireta seja mais indicada quando o objetivo é capturar a maior área possível, frisando a necessidade de renunciar à qualidade dos detalhes do modelo.

A escolha do equipamento a ser utilizado também afeta o resultado obtido. A escolha de câmeras mais robustas e com maior resolução na captura das imagens incrementa significativamente a quantidade de informação que pode ser armazenada em uma única fotografia, aumentando muito o nível de detalhes na nuvem de pontos que é gerada.

4.5 Proposta de metodologia de ensaio

Para sintetizar o conteúdo mostrado ao longo do trabalho, propõe-se uma metodologia para apoiar a execução do ensaio fotográfico para posterior aplicação da técnica da fotogrametria. Esta metodologia foi baseada no conjunto de ensaios realizados e nas dificuldades e acertos obtidos na produção dos modelos tridimensionais. A fim de facilitar a execução do método, o passo a passo é apresentado para casos de estudo internos e externos.

Para a criação de nuvem de pontos de ambientes externos o fator preponderante da qualidade do modelo é o número de fotografias usadas no projeto. A sobreposição das singularidades

4- Resultados

garante que o programa consiga interpretar todas as informações necessárias para criar um objeto com um bom nível de realidade e detalhes. A câmera utilizada deve ter abertura angular da ordem de F1.8 a 3.0, dependendo do tamanho e distância do objeto focalizado. A incidência solar não deve ser direta pois pode gerar reflexo e ruídos nas imagens, prejudicando o resultado final do modelo criado.

Já para os modelos internos o principal ponto de atenção deve ser a iluminação do ambiente, buscando equilibrar-se a presença de luz sem criar reflexos nos objetos. A abertura angular de F1.8 a 2.6 revelou-se a melhor opção, visto que o espaço físico geralmente é reduzido. Neste caso quanto maior a resolução da câmera melhor o resultado obtido, pois é possível registrar de maneira mais nítida os pormenores.

Levando em consideração a escolha correta da câmera e da hora do dia para se realizar o ensaio, o passo a passo deve seguir as seguintes orientações:

1. Para ensaios externos deve-se selecionar a opção de foco manual e para internos a opção deve permanecer no automático, caso esteja disponível no dispositivo;
2. Escolher o ponto de início do ensaio, preferencialmente na extremidade do edifício ou compartimento em questão;
3. Posicionar a câmera paralelamente ao eixo horizontal principal e ajustar o foco corretamente para então tirar a primeira fotografia;
4. Rodar a câmera em torno do seu eixo vertical alguns graus no sentido complementar do objeto, procurando incluir cerca de 60% do conteúdo da imagem anterior, e tirar uma nova fotografia;
5. Repetir o passo 3 até que se haja fotografias da totalidade do objeto do ensaio;
6. Mover a câmera aproximadamente 1 metro para o lado e repetir os passos 3, 4 e 5 até que se chegue ao lado oposto do inicial;
7. Quando possível, repetir o procedimento de tomada de fotografias para um nível mais elevado, para registrar as zonas mais altas do edifício e a cobertura.

Esta proposta de metodologia também resultou de várias dificuldades encontradas durante os ensaios. Nas primeiras tentativas de ensaio, as fotografias foram tiradas de uma distância muito curta, fazendo com que a sobreposição não fosse suficiente e o resultado fosse, consequentemente, insatisfatório. Para ensaios externos o ideal é garantir que toda a fachada do edifício seja registrada antes de se focar nos pormenores, assim o software consegue identificar a sobreposição e criar uma nuvem de pontos melhor. Em relação ao equipamento, acreditava-se no início do trabalho que a câmera com maior resolução em megapixels seria sempre a melhor opção, algo que não se verificou. A abertura angular da lente revelou-se um fator preponderante quando se trata de um ensaio externo, não devendo ser demasiadamente grande, pois causa distorção na imagem capturada (como um efeito olho de peixe), nem pequena, o que

impossibilita a sobreposição das imagens no grau necessário. Neste sentido vale ressaltar que os equipamentos mais antigos não são prejudicados na qualidade quando comparado aos mais novos.

Ainda sobre o ensaio externo, um grande desafio foi a utilização do drone. Este sim, por ser algo antigo ofereceu alguma dificuldade na realização do ensaio, pois não tinha estabilizador de voo e a vida útil da bateria é muito curta para realizar ensaios mais longos. Além disso, o drone exige a presença de duas pessoas para realizar o ensaio, uma pilotando e a outra operando a câmera remotamente via smartphone.

Para ensaios internos a principal dificuldade foi identificar que o fator preponderante era a incidência solar. Muitas tentativas foram realizadas de diferentes maneiras, variando-se a câmera, a quantidade de fotografias e a distância do objeto, para concluir então que a luz era o que mais afetava o resultado final. Nestes ensaios também foi possível perceber que o uso da câmera com maior resolução apresentou resultados ligeiramente melhores em relação às outras, tratando-se de um equipamento profissional de fotografia.

5. Conclusões

5.1 Conclusões gerais

Neste trabalho pretendeu-se testar a técnica da fotogrametria para o levantamento de um edifício residencial sob diferentes condições, incluindo uma análise de sensibilidade a partir dos resultados dos diferentes ensaios e dos resultados obtidos.

Conforme abordado na revisão bibliográfica, o método da fotogrametria digital pode ser muito útil para a criação de modelos tridimensionais de edifícios existentes, principalmente quando se faz o uso de nuvens de pontos para apoiar a modelação do edifício.

Este trabalho académico utilizou-se do estudo de diferentes métodos de aplicação da fotogrametria, buscando absorver as melhores características dos diferentes procedimentos e aplicá-los na prática. Para tal, foi realizado um conjunto de ensaios numa edificação do tipo residencial, tanto na sua parte exterior quanto no interior: o elevado número de ensaios e permitiu a comparação e discussão sobre os equipamentos utilizados e sobre as melhores formas de captação das imagens.

A respeito do método, é possível concluir que os dois fatores mais importantes na constituição de uma nuvem de pontos a partir da fotogrametria são a quantidade de fotografias utilizada para a criação do modelo e a iluminação do ambiente no momento do ensaio:

- a quantidade de fotografias deve ser o suficiente para que haja boa sobreposição das imagens. No entanto, a utilização de muitas imagens não implica necessariamente numa nuvem de pontos de melhor qualidade. No caso de estudo analisado, verificou-se que muitas vezes o elevado número de fotografias pode dificultar a identificação de pontos em comum da estrutura, criando distorção no modelo;

- sobre a incidência de luz, quando há baixa luminosidade os sensores fotográficos não conseguem capturar a imagem com a qualidade necessária, acabando por se gerar muito ruído na imagem. Em contrapartida, a incidência de demasiada luz pode gerar reflexos na superfície da estrutura e criar pontos que o software não consegue interpretar, o que resulta em buracos no modelo final.

Os comentários ao final do capítulo de resultados buscam guiar o leitor que deseja utilizar-se do método da fotogrametria, como um meio de facilitar a obtenção de bons modelos de nuvens de pontos.

5.2 Proposta de desenvolvimento futuro

Como oportunidade de desenvolvimento de futuros trabalhos sobre o assunto abordado, ficam evidenciadas as seguintes propostas:

- Combinação de imagens obtidas a partir de câmeras fotográficas com levantamentos realizados com laser scanners, visando constituir uma nuvem de pontos mista com alto nível de detalhes e também a textura dos elementos estruturais.
- Levantamento de pontos de atenção para construções com função estrutural condenada ou deteriorada, possibilitando o acompanhamento do desenvolvimento de patologias na mesma.
- Estudar a possibilidade de desenvolvimento do método para a videogrametria, como facilitador para o usuário final.
- Elaboração de modelo tridimensional para atualização do projeto (as built) e análise das dificuldades encontradas a partir de cada nuvem de pontos.

6. Referências

- A. Rashidi, I. Brilakis, P. Vela (2014) **Generating Absolute-Scale 3d Point Cloud Data Of Built Infrastructure Scenes Using A Monocular Camera Setting**. Journal Of Computing In Civil Engineering
- Andrade, C. (1996). **Electrochemical Methods For On-Site Determinations Of Corrosion Rates Of Rebars** Em Techniques To Assess The Corrosion Activity Of Steel Reinforced Concrete Structures.
- Atkinson, K.B., 1996. **Close Range Photogrammetry And Machine Vision**. Whittles Publishing, London.
- Baltsavias. Emmanuel P., (1999). **A Comparison Between Photogrammetry And Laser Scanning**. Isprs Journal Of Photogrammetry & Remote Sensing 54. Pp. 83–94
- Barnes, A; J. Cothren, K. Niven (2011) **Guides To Good Practice: Close-Range Photogrammetry**. Archaeology Data Service / Digital Antiquity: Guides To Good Practice. [Http://Guides.Archaeologydataservice.Ac.Uk/G2gp/Photogram_Toc](http://Guides.Archaeologydataservice.Ac.Uk/G2gp/Photogram_Toc)
- Barnes, Adam. 2011. **Four Basic Steps Of A Close-Range Photogrammetry Project**. Cast Technical Publications Series. Number 7561. [Http://Gmv.Cast.Uark.Edu/Photogrammetry/Four-Basic-Steps-Of-A-Close-Range-Photogrammetry-Project-3/](http://Gmv.Cast.Uark.Edu/Photogrammetry/Four-Basic-Steps-Of-A-Close-Range-Photogrammetry-Project-3/). [Acesso Em: 28 Setembro 2020].
- Bressan Thomé, B., 2016. **Você Sabe O Que É Bim? Entenda Agora Seu Conceito E Suas Aplicações**. Sienge. Disponível Em: <[Https://Www.Sienge.Com.Br/Blog/Voce-Sabe-O-Que-E-Bim-Entenda-O-Conceito-E-Suas-Aplicacoes/](https://www.sienge.com.br/blog/voce-sabe-o-que-e-bim-entenda-o-conceito-e-suas-aplicacoes/)> [Acesso Em 05 De Maio De 2020].
- Campos Netto, C. (2018). **Autodesk Revit Architecture 2018 – Conceitos E Aplicações**

- Carneiro Leão, L., **Os Segredos E Revelações Da Fotogrametria**. Disponível Em: <<https://www.geosensori.com.br/2019/07/17/os-segredos-e-revelacoes-da-fotogrametria/>> [Acesso Em 18 De Setembro De 2020]
- Dezen-Kempton, 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**. Gestão E Tecnologia De Projetos, São Paulo, V. 10, N. 2, P. 113-124, Jul./Dez. 2015 <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v10i2.102710>
- Durable. **Concrete Structures - Ceb Design Guide** (1992; Isbn 978-0-7277-1620-0; 120 Pages)
- Gonçalves, F., **Bim: Tudo O Que Você Precisa Saber Sobre Esta Metodologia**. Mais Engenharia. Disponível Em: <<http://maisengenharia.altoqi.com.br/bim/tudo-o-que-voce-precisa-saber/>> [Acesso Em 18 De Maio De 2020].
- Goran Radosevic. **Laser Scanning Versus Photogrammetry Combined With Manual Post-Modeling In Stecak Digitization**. Faculty Of Electrical Engineering Sarajevo - Bosnia And Herzegovina. (2010)
- Hanke, K., And P. Grussenmeyer (2002) **Architectural Photogrammetry: Basic Theory, Procedures, Tools**. September 2002, Isprs Commission 5 Tutorial, Corfu.
- Kraus, K. With Contributions By P. Waldhäusl. 1993. **Photogrammetry, Vol. 1, Fundamentals And Standard Processes**, 4th Edition, Dümmler/Bonn, Isbn 3-427-78684-6.
- M. Faltýnová, E. Matoušková, J. Šedina, K. Pavelka **Building Façade Documentation Using Laser Scanning And Photogrammetry And Data Implementation Into Bim**. The International Archives Of The Photogrammetry, 2016
- M. G. Tommaselli, A. (2009). **Fotogrametria Básica**
- Müller, A. V. (2015). **Captura Da Realidade Por Laser Scanner E Fotogrametria Para A Geração De Bim**. Universidade Federal De Santa Catarina, Florianópolis.
- N. Kolečka,. (2011) **Photo-Based 3d Scanning Vs. Laser Scanning – Competitive Data Acquisition Methods For Digital Terrain Modelling Of Steep Mountain Slopes**. International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences, Volume Xxxviii-4/W19
- Nhung Duong, C., **A Comparative Case Study Between Agisoft Photoscan And Autodesk Recap Photo-To-3d Web Services**. Tampere University Of Applied Sciences, Jan 2017
- P Oskouie, B Becerik-Gerber, L Soibelman. (2014). **Computing In Civil And Building Engineering**, P. 966-974
- P. Spring, A., **Creating Substance From A Clud: Low-Cost Product Generation**. University Os Plymouth, 2015

6- Referências

- R. Laing, M. Leon, J. Isaacs, D. Georgiev,. **Scan To Bim: The Development Of A Clear Workflow For The Incorporation Of Point Clouds Within A Bim Environment**, Wit Transactions On The Built Enviroment, Vol 149, 2015
- Remondino, F.; El-Hakim, S. Imagebased **3d Modeling: A Review. The Photogrammetric Record**, V. 21, N. 115, P. 269-291, Set. 2006
- Sanhudo, L.; Poças Martins, J.; Ramos, N.; Almeida, R.; Barreira, E.; Lurdes Simões, M.; Cardoso, V. (2018), **Técnicas De Levantamento Laser Scanner - Aplicabilidade Ao Contexto Dos Edifícios**, 2º Congresso Português De Building Information Modelling, Atas Do Congresso, Pp. 179-188, Lisboa, Maio 17-18.
- Sanhudo, L.; Ramos, N.M.M.; Martins, J.P.; Almeida, R.M.S.F.; Barreira, E.; Simões, M.L.; Cardoso, V. (2020), **A Framework For In-Situ Geometric Data Acquisition Using Laser Scanning For Bim Modelling**, Journal Of Building Engineering, Vol. 28, 101073, Doi:10.1016/J.Job.2019.101073
- Taiul, C. **Recap + Revit – Modelagem Do Museu Imperial De Petrópolis A Partir De Nuvem De Pontos**, Mundo Aec, Nov 2018