



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Carla Bedin

**ESTRATÉGIAS PARA INSPEÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE
FACHADAS COM USO DE *RPA*s E *LASER SCANNER***

Florianópolis
2019

Carla Bedin

**ESTRATÉGIAS PARA INSPEÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE
FACHADAS COM USO DE *RPA*s E *LASER SCANNER***

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Letícia Mattana

Florianópolis
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Bedin, Carla

Estratégias para inspeção do estado de conservação de fachadas com uso de RPAs e Laser Scanner / Carla Bedin ; orientadora, Leticia Mattana, 2019.

124 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. RPA (Remotely Piloted Aircraft). 3. Laser Scanner. 4. Estado de conservação. I. Mattana, Leticia. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Carla Bedin

**ESTRATÉGIAS PARA INSPEÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE
FACHADAS COM USO DE RPAs E LASER SCANNER**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de engenheiro civil e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 25 de novembro de 2019.

Prof.^a Luciana Rohde, PhD.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof.^a Leticia Mattana, Ms.^a
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Cristine do Nascimento Mutti, PhD
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Rafael Fernandes Teixeira da Silva
Governo do Estado de Santa Catarina

Eng. Matheus Körbes Bracht
Portal Engenharia Ltda.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais que sempre acreditaram em mim e me deram todas as oportunidades para seguir meus sonhos.

Aos meus irmãos, Diogo e Ricardo, que sempre foram meus exemplos e me ajudaram a escolher meus passos com muito carinho. À Mah que me mostra que esforço é sempre a chave para a realização pessoal e profissional.

Aos meus melhores amigos, Caroline e Arthur, por aguentarem meus choros, risadas, ressacas, conquistas e derrotas. Por sempre, em qualquer condição e circunstância, estarem ao meu lado.

À professora Leticia, por ter me acompanhado durante todo o processo, por ser não só uma excelente orientadora mas também por servir de inspiração por conduzir tão bem tudo o que se compromete a fazer.

Às Grossinhas, Nat e Tayse, por sobreviverem a todas as matérias comigo e compartilharam grandes momentos ao longo da minha graduação.

Ao meu casal preferido nesse mundo, Matheus e Aline, que contribuíram muito para quem eu e a gêmea somos. Exemplos que com esforço, foco e umas boas piadas é muito mais fácil causar transformações.

À Ohana, Diogo e Henrique, que acabaram se tornando muito mais que grandes amigos de curso, que compartilham de ideais e perspectivas semelhantes às minhas. Porque Ohana quer dizer família. Família quer dizer nunca abandonar ou esquecer.

Aos amigos do coarteto, Rafa e Fefo, por todos os finais de semana e noites de apoio, um carregando o outro durante esses cinco anos.

À colônia italiana da Trindade, Portal Engenharia, meus amigos Max, Jarbas e Matheus. Tenham certeza que vocês são responsáveis por grande parte das minhas conquistas profissionais, obrigada por todos os conselhos, experiências compartilhadas e por me ajudarem a compreender como discernir o que é realmente importante na vida.

Aos meus grandes amigos Elisa, Guilherme, Júlia e Larissa, que em poucos meses se tornaram muito mais que colegas de trabalho. Nunca esquecerei das nossas experiências juntos.

Aos meus apoiadores do dia a dia Matheus, Arthur e Paulo da Otus engenharia, vocês representam a força e vontade de causar a transformação no mundo que eu sempre quis, obrigada por me darem espaço para que possamos alcançar resultados juntos.

Ao laboratório Fotovoltaica UFSC pelo apoio e disponibilidade mesmo se tratando de uma pesquisa a parte do desenvolvido pelo laboratório.

Às empresas FARO e VeM associados, por todo o auxílio fornecido na elaboração deste trabalho.

RESUMO

A manutenção de fachadas de edificações é responsável por garantir que os seus componentes continuem funcionais durante o período de vida útil previsto e auxiliar na preservação do espaço interno, garantindo assim, o conforto de seus ocupantes. Processos de manutenção costumam ser negligenciados e o caso é ainda mais alarmante quando se trata de edifícios altos e os com geometria complexa, especialmente por envolverem problemas não usuais, geralmente relacionados à sua forma. Com isso, cada vez mais se acentua o problema de imprecisão dos dados gerados para reformas e, com o aumento do tamanho dos empreendimentos, verificado nas últimas décadas, o desafio se torna ainda mais pertinente. Os meios convencionais para monitorar o estado desses edifícios são majoritariamente inspeções visuais guiadas por uma pessoa, sendo este processo demorado e impreciso. Com isso, essa pesquisa tem o objetivo principal de elaborar estratégias para inspeção de fachadas com o uso de *Remotely Piloted Aircraft* (RPA) e *Laser Scanner*, trazendo maior agilidade, precisão e redução de tempo no processo exploratório de inspeção, buscando tornar a técnica mais simples e correta a ponto de que manutenções preventivas sejam realizadas no tempo correto e da maneira mais aprimorada possível. Os RPAs e *laser scanner* são considerados de uso recente em pesquisas no Brasil. Por se tratarem de novos processos, junto a eles origina-se a carência de estudos mais aprofundados. A metodologia adotada compreende um estudo de caso do edifício do departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, através de: realização de entrevistas com empresas e profissionais atuantes no segmento de manutenção e restauração predial na grande Florianópolis, levantamento de dados em campo com a utilização de RPAs e *Laser Scanner*, processamento e digitalização dos dados recolhidos para cada um dos equipamentos a fim de gerar reconstruções tridimensionais, definição dos melhores resultados, geração de ortoimagens e por fim a análise de dados através do processo de segmentação e classificação de *pixels*. Como resultado, a pesquisa constatou que o nível de maturidade das empresas para adoção de novas estratégias e a exploração correta de todo o seu potencial ainda está longe do ideal, mesmo que algumas empresas já realizem trabalhos com equipamentos tecnológicos de inspeção. Além disso, as inspeções relacionadas aos RPAs e ao *laser scanner* mostraram-se como técnicas efetivas, principalmente pela possibilidade de análise de áreas maiores ao invés de pontos específicos, atingindo grande precisão, sem a necessidade de grandes espaços para locação de equipamentos e ainda contando com a vantagem de acesso a diferentes áreas de forma rápida, no caso do uso dos RPAs. As técnicas apresentadas foram capazes de identificar as patologias constatadas visualmente, demonstrando que podem ser utilizadas na definição do estado de conservação de fachadas, melhorando significativamente a compreensão dos danos.

Palavras-chave: RPA (Remotely Piloted Aircraft). Laser Scanner. Manutenção.

ABSTRACT

The maintenance of building facades is responsible for ensuring that their components remain functional for the intended lifespan. It also helps to preserve the indoor space, thus ensuring the comfort of its occupants. Maintenance processes are often overlooked and it's even more alarming when it comes to tall buildings and those with complex geometry, especially as they involve unusual problems, usually related to their shape. Thereby, the inaccuracy problems of the data generated for refurbishments is increasing and, with the increase of the proportions of the buildings, verified in the last decades, the challenge becomes even more pertinent. Conventional means of monitoring the state of these buildings are mostly person-guided visual inspections, which are time consuming and inaccurate. Therefore, this research has the main objective of developing strategies for inspection of façades using RPA and Laser Scanner, bringing greater agility, precision and time reduction in the exploratory inspection process, seeking to make the simplest and most correct technique to the point that preventive maintenance is carried out at the right time and in the best possible way. RPAs and laser scanners are considered of recent use in research in Brazil. Because these are new processes, together with them comes the lack of published studies. The adopted methodology comprises the case study of the building of the Department of Architecture and Urbanism of the Federal University of Santa Catarina: the case studies were conducted through interviews with companies and professionals working in the building maintenance and restoration segment in Florianópolis metropolitan area, field data survey using RPA and Laser Scanner, processing and digitizing the data collected for each of the equipment in order to generate three-dimensional reconstructions, determination of the best results, generation of orthoimages and finally the data analysis through the process of segmentation and classification of pixels. As a result, the survey found that the companies' level of maturity for adopting new strategies and the correct exploitation of their full potential is still far from ideal, even though some companies are already working with technology inspection equipment. In addition, inspections related to the RPAs and laser scanner proved to be effective techniques, mainly due to the possibility of analyzing larger areas instead of specific points, reaching with great precision, without the need of large spaces for equipment rental and also having the advantage of having access to different areas quickly, when using RPAs. The presented techniques were able to identify the visually detected pathologies, demonstrating that they can be used in the mapping conservation state in facades, significantly improving the understanding of the damage.

Keywords: RPA (Remotely Piloted Aircraft). Laser Scanner. Maintenance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Nível de desempenho com e sem manutenção.	26
Figura 2 – Curvas de aquisição, manutenção e reparo e custo do ciclo de vida. . . .	27
Figura 3 – Mapeamento Igreja de Anime Sante em L'Aquila.	34
Figura 4 – Tipos mais comuns de equipamentos de varredura a laser.	39
Figura 5 – Princípio da medição fotogramétrica.	42
Figura 6 – Distância Focal.	43
Figura 7 – Característica sensores fotográficos.	44
Figura 8 – Opções de voo aplicativo Pix4D.	45
Figura 9 – Histograma de cores.	47
Figura 10 – Equação de Binarização.	47
Figura 11 – Método utilizado na pesquisa.	50
Figura 12 – Edifício de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina.	51
Figura 13 – Equipamento 3D FARO Focus.	53
Figura 14 – Plano de voo no aplicativo Dronedeploy.	55
Figura 15 – RPA recolhendo imagens paralelamente à fachada.	56
Figura 16 – Região de estudo, vista superior.	57
Figura 17 – Região de estudo, vista frontal.	58
Figura 18 – Esboço edifício com posições do <i>laser scanner</i> (pontos azuis), caminhada entre as cenas (linhas vermelhas) e campo de visão de cada cena (região próxima aos pontos azuis).	59
Figura 19 – Fotografia capturada pelo <i>Laser Scanner</i> para posterior inserção de cores nos pontos recolhidos.	59
Figura 20 – (a) Posicionamento para captura dos dados de um plano; e (b) Posicionamento para captura dos dados do entorno da edificação.	60
Figura 21 – Sobreposição lateral e vertical de 80% resultando em 4% de área única (região preta).	61
Figura 22 – Características dos sensores fotográficos dos levantamentos.	62
Figura 23 – Realização da aquisição de dados com RPA DJI Mavic Air.	63
Figura 24 – Realização da aquisição de dados com o RPA DJI Matrice 200.	64
Figura 25 – Definição dos dois planos em que serão geradas ortoimagens. Plano 1: Parede plana, Plano 2: face do brise.	66
Figura 26 – Região da extração de amostra.	67
Figura 27 – Recorte da Patologia.	68
Figura 28 – Reconstrução de fachada com imagens paralelas ao plano.	71
Figura 29 – Erro encontrado na tentativa de triangularizar as imagens.	72
Figura 30 – Resultado do voo do dia 25 de julho. Voo estrutura.	72

Figura 31 – Posicionamento e amostra das cenas 1 e 2.	73
Figura 32 – Erros estatísticos de varredura.	74
Figura 33 – Imagens adquiridas com DJI Mavic Air.	76
Figura 34 – Imagens adquiridas com DJI Matrice 200.	76
Figura 35 – Resultado dos dados recolhidos com <i>Laser Scanner</i>	77
Figura 36 – Resultado de imagens paralelas com DJI Mavic Air.	79
Figura 37 – Resultado de imagens paralelas com DJI Matrice 200.	80
Figura 38 – Resultado de imagens oblíquas com DJI Mavic Air.	81
Figura 39 – Resultado de imagens oblíquas com DJI Matrice 200.	82
Figura 40 – Ortoimagens geradas para os três equipamentos.	83
Figura 41 – Região da extração de amostra.	85
Figura 42 – Histogramas para equipamento Laser Scanner.	86
Figura 43 – Histogramas para equipamento DJI Mavic Air.	87
Figura 44 – Histogramas para equipamento DJI Matrice 200.	88
Figura 45 – Identificação dos pixels.	90
Figura 46 – Resultado da segmentação dos dados.	91
Figura 47 – Resultados do equipamento <i>Laser Scanner</i>	92
Figura 48 – Resultados do equipamento DJI Mavic Air.	92
Figura 49 – Resultados do equipamento DJI Matrice 200.	93
Figura 50 – Criar um novo arquivo no ContextCapture.	117
Figura 51 – Adicionar fotos.	118
Figura 52 – Opção para aerotriangularização.	119

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Etapas da Inspeção Predial.	30
Quadro 2 – Características do método de inspeção visual direta para mapeamento do estado de conservação em fachada.	31
Quadro 3 – Características do método de levantamento fotográfico para mapeamento do estado de conservação em fachada.	32
Quadro 4 – Características do método de levantamento termográfico para mapeamento do estado de conservação em fachada.	33
Quadro 5 – Características do método de levantamento fotogramétrico para mapeamento do estado de conservação em fachada.	35
Quadro 6 – Características do método de laser scanner para mapeamento do estado de conservação em fachada.	36
Quadro 7 – Características do método de levantamento com drone para mapeamento do estado de conservação em fachada.	37
Quadro 8 – Características Edifício Arquitetura e Urbanismo.	52
Quadro 9 – Resumo dos entrevistados.	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 2 – Vida Útil de Projeto de Sistemas Prediais.	26
Tabela 3 – Tipologias de RPAs utilizadas no trabalho e respectivas características. . .	54
Tabela 4 – Tipologias de RPAs utilizadas nos experimentos pilotos e respectivas características.	55
Tabela 5 – Tipologias de RPAs utilizadas no trabalho e respectivas características. . .	60
Tabela 6 – Cálculo número de fotos necessárias.	75
Tabela 7 – Resumo de amostras para classificação de pixel.	89
Tabela 8 – Tabela Resumo resultados da segmentação das imagens.	91

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
CBM	<i>Condition-Based Maintenance</i>
CONFEA	Conselho Federal de Engenharia e Agronomia
CREA	Conselhos Regionais de Engenharia e Agronomia
CTBUH	<i>Council on Tall Buildings and Urban Habitat</i>
GNSS	Global Navigation Satellite System
HSV	<i>Hue, Saturation and Value</i>
IBAPE	Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
IMU	<i>Inertial Measurement Unit</i>
LADAR	<i>Laser Detection and Ranging</i>
LIDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
MCW	<i>Modulated Continuous Waveform</i>
NBR	Norma Brasileira
RGB	<i>Red Green and Blue</i>
RPA	<i>Remotely Piloted Aircraft</i>
TLS	<i>Terrestrial Laser Scanner</i>
TOF	<i>Time of Flight Laser Scanner</i>
VU	Vida Útil
VUP	Vida Útil de Projeto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA E DA PESQUISA	21
1.2	PROBLEMÁTICA DA PESQUISA	22
1.3	ESTADO DA ARTE	22
1.4	OBJETIVO	23
1.4.1	Objetivo Geral	23
1.4.2	Objetivos Específicos	23
1.5	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	24
1.6	ORGANIZAÇÃO	24
2	REVISÃO DE LITERATURA	25
2.1	INSPEÇÃO E MONITORAMENTO PREDIAL	25
2.1.1	Durabilidade	25
2.1.2	Vida útil	25
2.1.3	Manutenção	27
2.1.4	Patologias	28
2.1.5	Técnicas de Mapeamento de Fachadas	29
2.1.5.1	Observação Visual Direta	30
2.1.5.2	Levantamento Fotográfico	31
2.1.5.3	Termografia	32
2.1.5.4	Fotogrametria Terrestre Digital	33
2.1.5.5	Varredura com <i>Laser Scanner</i>	34
2.1.5.6	<i>Remotely Piloted Aircraft (RPA)</i>	36
2.2	TECNOLOGIAS PARA SUPORTE À INSPEÇÃO PREDIAL E CAPTURA DA REALIDADE	37
2.2.1	Sensor óptico ativo: <i>Laser Scanner</i>	38
2.2.2	Sensor óptico passivo: Câmeras	41
2.2.3	Estratégia de classificação dos dados	46
3	METODOLOGIA	49
3.1	MÉTODO DA PESQUISA	49
3.2	PROCEDIMENTO DA PESQUISA	51
3.2.1	Caracterização do estudo de caso	51
3.2.2	Levantamento em Campo	51
3.2.2.1	Elaboração e aplicação de entrevistas com profissionais da área	51
3.2.2.2	Equipamentos	53
3.2.2.3	Experimento Piloto	54
3.2.2.4	Definição da Região de Estudo	57
3.2.2.5	Aquisição dos dados com <i>Laser Scanner</i>	57

3.2.2.6	Aquisição dos dados com RPAs	59
3.2.3	Processamento e digitalização	64
3.2.3.1	Processamento e digitalização das cenas para <i>Laser Scanner</i>	64
3.2.3.2	Processamento e digitalização das imagens para RPA	65
3.2.3.3	Geração de Ortoimagens	65
3.2.4	Análise de dados	67
4	RESULTADOS	69
4.1	LEVANTAMENTO EM CAMPO	69
4.1.1	Elaboração e aplicação de entrevistas com profissionais da área.	69
4.1.2	Experimentos Piloto	70
4.1.3	Aquisição dos dados com <i>Laser Scanner</i>	73
4.1.4	Aquisição dos dados com <i>RPA</i>	75
4.2	PROCESSAMENTO E DIGITALIZAÇÃO	75
4.2.1	Processamento e digitalização das cenas para <i>Laser Scanner</i> .	75
4.2.2	Processamento e digitalização das imagens para RPA	78
4.2.2.1	Etapa 1: Processamento das imagens paralelas à fachada	78
4.2.2.2	Etapa 2: Processamento com adição de imagens oblíquas	80
4.2.3	Geração de Ortoimagens	82
4.3	ANÁLISE DE DADOS	84
4.3.1	Etapa 1: Definição dos Pixels da mancha	84
4.3.2	Etapa 2: Classificação da ortoimagem de acordo com intervalo definido	90
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PATA TRABALHOS FUTUROS	95
5.1	QUANTO AO ALCANCE DOS OBJETIVOS	95
5.1.1	Objetivo geral	95
5.1.2	Objetivos específicos	95
5.2	CONCLUSÃO	98
5.3	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	99
	REFERÊNCIAS	101
	APÊNDICE A – ENTREVISTA 1	109
	APÊNDICE B – ENTREVISTA 2	111
	APÊNDICE C – ENTREVISTA 3	115
	APÊNDICE D – PASSO A PASSO PROCESSAMENTO CONTEXT-CAPTURE	117
	APÊNDICE E – ALGORITMOS	121
E.1	ALGORITMO DE DETECÇÃO DE CORES	121
E.2	ALGORITMO DE DETECÇÃO DE PIXEL SIMILAR	121

1 INTRODUÇÃO

As informações aqui contidas compõem o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) referente à graduação em Engenharia Civil da UFSC, sendo orientado pela professora Ma. Letícia Mattana. O objeto trata do desenvolvimento de estratégias para estudo de fachadas com o uso de RPA, popularmente conhecido como drone, e *laser scanner*.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA E DA PESQUISA

Desde 2013, os edifícios considerados altos (com mais de 200 metros de altura) estão ganhando maior proporção. Em 2018, a *Council on Tall Buildings and Urban Habitat* (CTBUH) contabilizou 1319 prédios com essas características no mundo. No ano de 2000, tal categoria era representada por apenas 263 imóveis. Segundo a CTBUH, o Brasil entrará na contagem a partir deste ano, 2019, tendo previsto a entrega de 8 edifícios altos entre o ano de 2019 e 2022. Além desses, o Brasil, assim como diversos outros países, vêm apresentando um aumento exponencial de sua verticalização. A cidade de São Paulo sozinha possui mais de 45000 edifícios (ITAMBÉ, 2018).

Entende-se, então, que grande parte da população brasileira e mundial usufrui dessas edificações durante parte do seu dia. Em termos de construção civil é imprescindível garantir o conforto dos usuários ao longo do tempo visto que um imóvel é planejado, projetado e construído para atender suas necessidades durante décadas. Para que isso seja viável, torna-se primordial a prática constante da manutenção preventiva. Porém, essa prática ainda não é muito difundida no Brasil, ou seja, quando se trata de imóveis, poucos são os usuários que realizam a manutenção preventiva tão adequadamente quanto sugerido e especificado em manuais de uso e operação (U. R. CASTRO, 2007).

A imprudência relacionada às manutenções acaba causando o surgimento de custos demasiados, quando a intervenção não é realizada no momento correto. A evolução desse custo é representada por uma progressão geométrica com razão 5, de acordo com a Lei da Evolução de Custos ou Lei de Sitter. Desta forma, cada unidade monetária investida em projeto, corresponde a 5 unidades na fase de execução, 25 unidades com manutenção preventiva e 125 unidades com trabalhos de manutenção corretiva (HELENE, 1997).

Se tratando de elementos da edificação, de acordo com Medeiros *et al.* (2014), as fachadas correspondem a cerca de 13% do custo total da obra. Além disso, elas são responsáveis por diversos impactos no interior da edificação, pois são primordialmente responsáveis por resguardar o ambiente interno das condições atmosféricas. Logo, considerando-se fundamentalmente o requisito de durabilidade, assim como toda a edificação, o envoltório deve ser capaz de manter seus componentes funcionais

durante o período de vida útil previsto em projeto e em legislações, sustentadas por intervenções periódicas de manutenção.

1.2 PROBLEMÁTICA DA PESQUISA

Os agentes implicadores em manifestações patológicas e decréscimo da vida útil do envoltório, como ação do vento, radiação solar, variação térmica, chuva, solicitações estruturais derivadas de carregamentos estáticos e dinâmicos exigem uma expressiva análise para aquisição de um diagnóstico consonante. Por conseguinte, as fachadas, assim como as coberturas dos edifícios devem atender requisitos mínimos de desempenho, tais como estanqueidade à água, resistência mecânica e condições acústicas ao menos durante o período pré estipulado pela normativa NBR 15575-2013. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Porém, os edifícios altos e também os com geometria complexa comumente criam empecilhos no desempenho e durabilidade ao longo da vida útil, especialmente por envolverem problemas não usuais, pelo difícil acesso e necessidade de gastos com a locação de equipamentos e ferramentas para a realização de inspeções e manutenções. Com isso, cada vez mais se acentua o problema de imprecisão dos dados gerados para reformas e, com o aumento da altura e extensão dos empreendimentos, o desafio se torna ainda mais pertinente.

Os meios convencionais para monitorar o estado desses edifícios são majoritariamente inspeções visuais guiadas por uma pessoa. Conforme apresentado por Pu e Vosselman (2009), o processo manual de reconstrução tridimensional de fachadas pode ser demorado e impreciso. Nessa metodologia, os operadores ou modelistas precisam interpretar os dados de referência, elaborar modelos representados por limites, definir áreas com diferentes texturas sem distorcê-las e, finalmente, aplicar texturas correspondentes a cada face do modelo.

1.3 ESTADO DA ARTE

Logo, a detecção de degradação dos elementos de fachadas com métodos tradicionais, como mapeamento manual ou simples exame de verificação visual por um especialista, é considerado demorado e composto por procedimentos trabalhosos, de modo que tecnologias como *Terrestrial Laser Scanner* (TLS), RPA e as metodologias de processamento de imagem estão sendo desenvolvidos, permitindo a detecção de patologias (SEIF; SANTANA; KREIDI, 2011), sua evolução (FREGONESE; BIOLZI; BOCCIARELLI, 2013), identificação de deformações (PESCIA; BONALIB; GALLIB, 2012) e documentação de fachadas (POZO *et al.*, 2015), apresentando a vantagem de se tratarem sensores não destrutivos e não invasivos que permitem que os pesquisa-

dores adquiram informações geométricas e radiométricas em todo o edifício com alta precisão e em uma aquisição de curta duração.

Os RPAs e *laser scanner* são considerados de uso recente em pesquisas no Brasil. O primeiro regulamento de utilização de aeronaves não tripuladas no país data de maio de 2017. Aprovado pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) cria regras para a operação das citadas aeronaves com fins de uso recreativo, corporativo, comercial ou experimental. Por se tratarem de novos processos, junto a eles origina-se a carência de estudos mais aprofundados (MEDEIROS *et al.*, 2014).

Em poucos casos presentes na literatura brasileira, como é o caso de Melo *et al.* (2018) realiza-se o processamento de imagem e não apenas utiliza-se o material fotografias para realizar análises visuais, sem extração de dados quantitativos, por exemplo.

Para elaboração do presente trabalho, buscou-se então a definição de um tema em que se tornasse viável o uso de diferentes equipamentos, que fosse possível a verificação referente a extração de dados quantitativos e que buscasse amenizar algum problema relativo aos edifícios altos e de geometria complexa que estão sendo construídos no mundo. Unindo estes argumentos, decidiu-se estudar estratégias para levantamento de informações de edifícios com foco na manutenção apoiado no uso de ferramentas tecnológicas.

Ambiciona-se assim, analisando as referidas informações, dar resposta às seguintes questões:

- Como mapear o estado de conservação de fachadas dos edifícios?
- As técnicas de mapeamento tradicionais, baseadas sobretudo na observação visual direta, são suficientes para a obtenção de um diagnóstico de qualidade?
- Como obter informações de fachadas em edifícios altos e de geometria complexa?

1.4 OBJETIVO

1.4.1 Objetivo Geral

Propor estratégias para inspeção do estado de conservação de fachadas com uso de *RPAs* e *Laser Scanner*.

1.4.2 Objetivos Específicos

Considerando o desenvolvimento do trabalho e o objetivo geral apresentado, destacam-se os seguintes objetivos específicos:

1. Compreender o processo de inspeção de fachadas por profissionais da Grande Florianópolis e o nível de maturidade com relação ao uso de tecnologias no processo;
2. Identificar quais são as tecnologias existentes para inspeção do estado de conservação de fachada;
3. Realizar levantamento de dados em fachadas com uso de inovações tecnológicas;
4. Realizar medições quantitativas através dos dados gerados pelo levantamento;

1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

- Os dados recolhidos, analisados e os resultados encontrados são válidos para os equipamentos utilizados. Outros equipamentos, tanto RPAs como *Laser Scanners*, podem ser objeto de estudo futuro;
- As estratégias elaboradas foram testadas, assim válidas, apenas para o caso estudado; podendo ser testadas em outras edificações para validação da proposta;
- A edificação foi verificada preliminarmente de maneira geral e para extração dos resultados definiu-se uma região específica de estudos;
- A pesquisa foi limitada pela disponibilidade dos equipamentos e softwares fornecidos e de seus responsáveis;
- Não foi objeto desta pesquisa o aprofundamento no estudo da causa e solução da manifestação patológica encontrada nos resultados;

1.6 ORGANIZAÇÃO

O presente trabalho está organizado da seguinte forma:

Capítulo 1: introdução e apresentação da contextualização do tema, a problemática, o estado da arte, os objetivos e as delimitações da pesquisa.

Capítulo 2: são apresentados os conceitos relacionados ao levantamento de informações de edifícios com foco na manutenção, além de expor os principais trabalhos e pesquisas desenvolvidas através de uma busca exploratória na literatura.

Capítulo 3: refere-se a metodologia da pesquisa, em que aborda-se o método e os procedimentos adotados nesse estudo a partir das informações agregadas no capítulo 2, afim de representar uma sequência coerente para atingir os resultados.

Capítulo 4: são exibidos os resultados obtidos ao aplicar o método do capítulo 3, assim como uma discussão das principais impressões percebidas durante o estudo.

Capítulo 5: considerações finais da pesquisa.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura abrange conceitos relevantes que servem de embasamento para compreensão do trabalho e cumprimento dos objetivos e, para melhor compreensão, será abordada em duas partes distintas. Na primeira parte discorre-se questões relacionadas às inspeções e monitoramento das fachadas. Na segunda parte são abordadas as informações sobre sensores e equipamentos de registro de informações e ferramentas computacionais necessárias para a realização deste trabalho.

2.1 INSPEÇÃO E MONITORAMENTO PREDIAL

2.1.1 Durabilidade

Conforme descrito pela ABNT NBR 15575-1 (2013), durabilidade é definida como a capacidade da edificação ou de seus sistemas em desempenhar suas funções ao longo do tempo e sob condições especificadas no manual de uso, operação e manutenção. O termo também é utilizado como qualitativo para expressar a condição em que o edifício ou seus sistemas mantêm seu desempenho requerido durante a vida útil.

Quando o sistema deixa de cumprir as funções que lhe foram atribuídas ele extingue sua durabilidade e chega ao fim de sua vida útil, independente se o motivo refere-se à degradação que conduz a um estado acentuadamente inferior ou por obsolescência funcional. Logo, a durabilidade não define-se como uma propriedade inerte ao material, mas sim uma função relacionada com o desempenho dos mesmos (POSSAN; DEMOLINER, 2013).

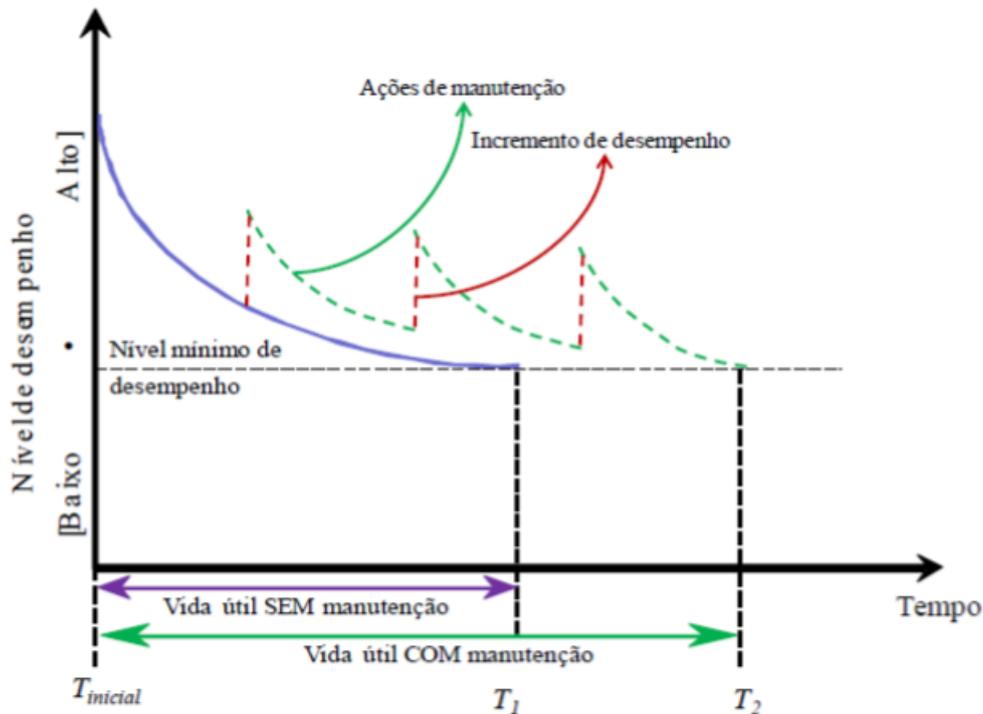
O estudo da durabilidade na construção civil está intrinsecamente aliado ao desenvolvimento de novas soluções de materiais, componentes e sistemas construtivos, à seleção de concorrentes e à avaliação de custos de manutenção em cada período da vida de uma construção, uma vez que resultados relacionados a esses podem causar grandes impactos no tempo em que se mantém a vida útil (JOHN, 1988).

2.1.2 Vida útil

A vida útil de uma edificação pode ser definida como o tempo estimado em que o sistema projetado deve atender aos requisitos de desempenho presentes na ABNT NBR 15575-1 (2013), sendo diretamente impactado pelas atividades de manutenção, reparo e pelo ambiente de exposição. Assim, o valor final atingido de Vida Útil (VU) será uma composição do valor teórico calculado como Vida Útil de Projeto (VUP), definido pelo projetista, influenciado positivamente ou negativamente pelas ações de manutenção, intempéries e outros fatores internos de controle do usuário e externos (naturais) fora de seu controle. Na Figura 1, verifica-se a influência das manutenções no tempo

de vida útil da edificação. Destacando que sem as corretas ações de manutenção a VUP pode não ser atingida para o nível mínimo de desempenho.

Figura 1 – Nível de desempenho com e sem manutenção.



Fonte: Possan e Demoliner (2013)

Pela Norma de Desempenho brasileira ABNT NBR 15575-1 (2013), o nível obrigatório de desempenho é definido pelo valor mínimo exigido para a VUP. Além desse, a normativa expõe os níveis intermediário e superior (Tabela 2).

Tabela 2 – Vida Útil de Projeto de Sistemas Prediais.

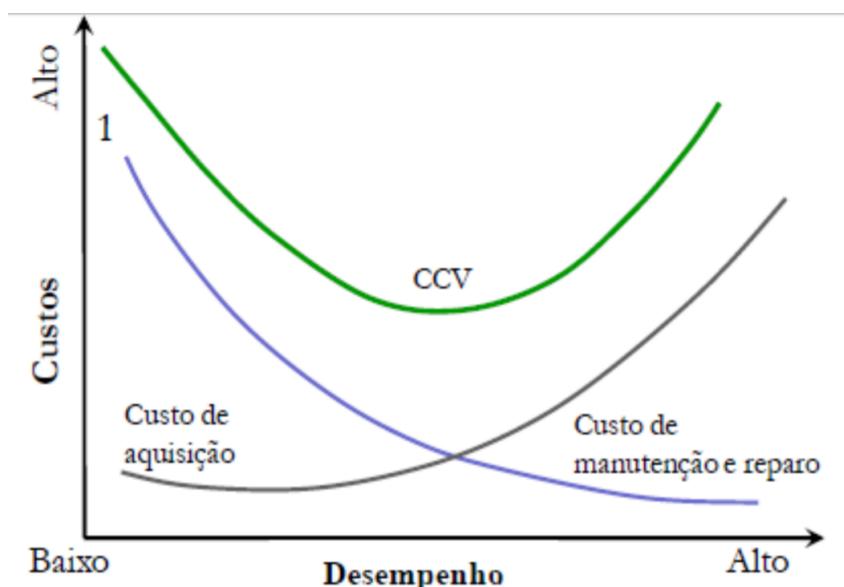
Sistema	VUP (em anos)	
	Mínima (M)	Superior (S)
Estrutura	≥ 50	≥ 75
Pisos Internos	≥ 13	≥ 20
Vedação vertical externo	≥ 40	≥ 60
Vedação vertical interna	≥ 20	≥ 30
Cobertura	≥ 20	≥ 30
Hidrossanitário	≥ 20	≥ 30

Fonte: Possan e Demoliner (2013)

Conforme apresentado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 1988), definir a vida útil dos componentes é capaz de proporcionar o estudo de estimativas dos custos de manutenção e frequência de reparos ou reposição de itens, os quais são essenciais para a precisão do custo final da edificação.

O custo global é descrito por John *et al.* (2002), como sendo o custo de: planejamento, projeto, aquisição, operação, manutenção e demolição. Produtos com menores custos iniciais tendem a ser menos duráveis, ocasionando maiores custos de manutenções futuras e provavelmente maior custo global. Porém, o sistema com menor custo global não é comumente representado pelo menor custo inicial e nem pelo mais durável mas sim o resultado de um processo de otimização de custo, normalmente presente no intermédio dos extremos. Logo, procura-se estabelecer a alternativa de projeto que reflita em ponderados custos de operação, manutenção, reparação e reabilitação, definindo-se assim a curva de custo de aquisição, curva de custos de intervenções ao longo do tempo e por fim a curva do custo do ciclo de vida relacionada ao custo global (Figura 2) (POSSAN; DEMOLINER, 2013).

Figura 2 – Curvas de aquisição, manutenção e reparo e custo do ciclo de vida.



Fonte: Possan e Demoliner (2013)

2.1.3 Manutenção

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) Norma Brasileira (NBR) 15575-1 (2013), manutenção trata das ações técnicas que devem ser realizadas para manter ou restaurar a funcionalidade do empreendimento e de seus sistemas construtivos objetivando manter a segurança dos usuários e atender suas necessidades. Conforme a ABNT NBR 5674 (2012):

A manutenção das edificações é um tema cuja importância supera a cultura de se pesar o processo de construção limitado até o momento quando a edificação é entregue e entra em uso. Significando custo relevante na fase de uso da edificação, a manutenção não pode ser feita de modo improvisado, esporádico ou casual. Ela deve ser entendida como um serviço técnico perfeitamente programável e como um investimento na preservação do valor patrimonial.

Comumente, as políticas de manutenção são divididas em corretivas, preventivas e manutenção baseada em condições (pouco tratada na literatura para edifícios). No primeiro caso, a ação de manutenção é executada após algum elemento apresentar problemas, como avarias em sistemas. Já a manutenção preventiva correlaciona-se com a periódica verificação dos constituintes em um determinado intervalo de tempo, afim de evitar o surgimento de anormalidades no sistema. Por último, a *Condition-Based Maintenance* (CBM) ou Manutenção Baseada em Condições pode ser tratada como o método usado para reduzir a incerteza das atividades de manutenção, sendo realizado de acordo com as exigências indicadas pela condição do equipamento, permitindo identificar e resolver problemas antecipadamente antes que ocorram danos ao produto (HOSHINA; BAEJUNB, 2015).

Os manuais de uso, operação e manutenção, obrigatoriamente entregues pela incorporadora ou construtora (no caso de não haver incorporação), devem apresentar informações relativas às manutenções preventivas e corretivas como periodicidade, modo de execução e de registro das intervenções. Apoiando-se, sempre que couber, em normas técnicas, como a ABNT NBR 14037 (2014) e a ABNT NBR 5674 (2012) relacionadas à gestão de manutenção, findando preservar as características originais da edificação e minimizar a perda de desempenho causada pela degradação de sistemas, elementos ou componentes.

Somado a isso, ainda nas fases predecessora à execução do edifício, é crucial apresentar a especificação de materiais, processos e equipamentos de aporte à realização da manutenção, elaborando composições quantitativas estimadas dos insumos necessários para os diferentes futuros reparos. Além disso, os projetos devem ser elaborados com a diretriz de facilitar as manutenções ao longo da vida útil, evitando-se, por exemplo, janelas com vidros fixos sem a facilidade de acesso pelo exterior da obra (THOMAZ; MAR, 2013).

2.1.4 Patologias

Ao se tratar de construção civil, patologia pode ser definida como falhas que causam danos estéticos ou de desempenho à edificação. O estudo de patologia das construções define a especialidade que averigua, de maneira metodizada, os defeitos tanto de materiais como componentes e sistemas em um local isolado ou no imóvel como um todo, expondo suas causas, estabelecendo seus mecanismos de evolução, formas de manifestação, medidas de prevenção e recuperação (THOMAZ, 1990 apud

ANTUNES, 2011).

Investigar as manifestações patológicas não está exclusivamente vinculado ao processo de reparo e conservação de padrões de desempenho, agrega-se a isso o potencial de registro de informações e averiguação de problemas que podem ser mitigados em novos projetos. Como ressaltado por Thomaz (1989), a inexistência de registros e de divulgação de informações sobre problemas patológicos é capaz de postergar o desenvolvimento de técnicas relacionadas ao processo de projetar e construir.

Por conseguinte, Bauer (2001), ao estudar manifestações patológicas concluiu que elas são causadas predominantemente por deficiência no projeto, desconhecimento das características dos materiais empregados, uso de material inadequado, erro de execução, desconsideração de normas técnicas e por problemas de manutenção.

2.1.5 Técnicas de Mapeamento de Fachadas

Segundo o Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (IBAPE (2012)), inspeção predial é definida como uma ferramenta que permite uma avaliação sistêmica da edificação, capaz de classificar as não conformidades que tangem a edificação quanto a sua origem, grau de risco e ainda indicar as diretrizes técnicas à manutenção dos sistemas e elementos construtivos, configurando assim o estado de conservação da edificação.

A Norma de Inspeção Predial elaborada pelo Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (IBAPE), aprovada em assembleia nacional em 2012, determina as diretrizes, conceitos, terminologia, convenções, notações, critérios e procedimentos relativos à inspeção predial, cuja responsabilidade tange aos engenheiros e arquitetos, legalmente habilitados pelo Conselhos Regionais de Engenharia e Agronomia (CREA), de acordo com a Lei Federal 5194 de 21/12/1966 e resoluções do Conselho Federal de Engenharia e Agronomia (CONFEA).

Para tal, o método descrito para inspeções de edifícios é fragmentado em 11 etapas, presentes no Quadro 1.

Seguramente, o mapeamento do estado de fachadas exige uma gestão integrada de uma série de parâmetros. A etapa 4, de vistoria das áreas pelo inspetor, não define qual método deve ser utilizado pelo profissional para recolher tais informações. Assim, além de seguir as etapas apresentada pelo IBAPE, o profissional deverá definir qual metodologia irá utilizar para preencher tal lacuna. Somado a isso, segundo Santos (2017), é igualmente exigível uma representação gráfica eficaz, capaz de possibilitar a análise e correlação dos dados registrados para assim alcançar-se uma gestão integrada dos parâmetros.

Quadro 1 – Etapas da Inspeção Predial.

Etapa	Ação
Etapa 1	Definição do nível de inspeção de acordo com o estimado pelo inspetor ou pela finalidade da mesma
Etapa 2	Verificação de documentos
Etapa 3	Obtenção de informações junto aos responsáveis e usuários da edificação
Etapa 4	Vistoria nas áreas comuns e unidades autônomas para inspeção dos tópicos definidos em check-list
Etapa 5	Classificação das anomalias, falhas e não conformidades com a documentação examinada
Etapa 6	Classificação e análise das anomalias e falhas quanto ao grau de risco
Etapa 7	Elaboração de lista de prioridades
Etapa 8	Elaboração de recomendações técnicas, de sustentabilidade e gerais
Etapa 9	Classificação do estado de conservação
Etapa 10	Recomendações gerais
Etapa 11	Tópicos essenciais do laudo
Etapa 12	Responsabilidades

Fonte: IBAPE (2012).

Logo, segue-se a descrição das técnicas atualmente utilizadas para obtenção de dados de estado de conservação de fachadas, tratando da detecção das manifestações patológicas, suas formas de registro gráfico, equipamentos, potencialidades e limitações conforme dispostos em bibliografia.

2.1.5.1 Observação Visual Direta

Apesar de todas as técnicas aqui especificadas fazerem uso inicialmente da inspeção visual, essa seção trata do seu uso exclusivo. Para tal, é necessário que o observador seja qualificado e compreenda as técnicas construtivas e os materiais do estudo de caso. O inspetor irá verificar visualmente todo o edifício, afim de detectar irregularidades, devendo utilizar dispositivos de auxílio ao mapeamento, como fita métrica, medidor de fissuras e equipamentos de segurança, caso necessário (FLORES; BRITO, 2007).

Para registro de informações e representação gráfica há diversos métodos expostos por diversos autores. Segundo Santos (2017), deve-se utilizar fichas de patologia pré-definidas, conforme já definido pelo IBAPE, para registrar desenhos das patologias encontradas, com sua identificação, descrição e quantificação. No Quadro 2 descrevem-se importantes características relacionadas ao método de inspeção visual direta.

Quadro 2 – Características do método de inspeção visual direta para mapeamento do estado de conservação em fachada.

Característica	Observação
Precisão	Dependente do equipamento de medição e perícia do operador
Recursos Necessários	1 pessoa Binóculos, fita métrica, bússola, escadote e equipamento de segurança
Potencialidades	Baixo custo Técnica não destrutiva Simplicidade
Limitações	Segurança do operador Caráter subjetivo na análise das anomalias de acordo com o conhecimento do profissional Grande dependência de projetos antigos da edificação para precisão do Local das patologias Impossibilidade de registros em fachadas menos acessíveis Capacidade de desenho à mão livre por parte do operador para o registro futuro

Fonte: Adaptado de Santos (2017).

2.1.5.2 Levantamento Fotográfico

Segundo Ferreira *et al.* (2012), o levantamento das patologias desenvolvido a partir de inspeções visuais, imagens e apoio de fichas de inspeção é capaz de colaborar para uma leitura e visualização geral tanto da geometria como materiais, elementos construtivos e até mesmo condições de habitabilidade, salubridade e durabilidade da edificação. Sendo necessário acompanhar a seguinte ordem de importância:

- 1 - Registro fotográfico hierarquizado
- 2 - Preenchimento das fichas, priorizando o registro (o diagnóstico deverá ser realizado posteriormente)
- 3 - Registro geométrico manual.

Para Bauer e E. K. d. Castro (2010), a documentação fotográfica tem a possibilidade de representar geral ou parcial o objeto de estudo. Se tratando de uma vista parcial, propõe-se a utilização de algum objeto junto à imagem para transmitir a real escala e dimensão da manifestação patológica e assim facilitar a compreensão do problema. Já o registro geral deve ser capaz de transmitir a intenção do autor para melhor especificar no registro local.

É possível realizar a quantificação das patologias com o uso de tal método, a partir de tabelas com fragmentação do edifício em áreas (como cantos e transição entre paredes), diferenciação de posição geográfica e por pavimentos. Os danos são identificados em suas respectivas localizações e no fim contabiliza-se a quantidade de registros existentes sobre cada área (BAUER; E. K. d. CASTRO, 2010). No Quadro 3 seguem demais informações relacionadas ao método.

Quadro 3 – Características do método de levantamento fotográfico para mapeamento do estado de conservação em fachada.

Característica	Observação
Precisão	Em função da resolução do equipamento fotográfico e da distância entre ele e o ponto desejado de análise no edifício
Recursos Necessários	1 pessoa Máquina fotográfica digital, tripé e computador (para processamento das imagens)
Potencialidades	Custo reduzido Técnica não destrutiva Simplicidade Registro documental Observação de irregularidades nas fachadas Portabilidade dos equipamentos Potencializa observação de patologias pela possibilidade de obter imagens de diferentes ângulos e distâncias
Limitações	Caráter subjetivo na análise das anomalias de acordo com o conhecimento do profissional Impossibilidade de registros em fachadas menos acessíveis (distantes do nível mais baixo ou difícil acesso) Impossibilidade da visualização da fachada como um todo e assim obter visão global das patologias para correlacionar danos registrados Atende apenas edifícios de pequena escala

Fonte: Adaptado de Santos (2017).

2.1.5.3 Termografia

Segundo Tarpani *et al.* (2009), a termografia infravermelha trata-se de uma técnica não destrutiva de ensaio baseada no mapeamento térmico de um componente para a localização de suas regiões danificadas ou defeituosas. Tal visualização só é possível pelo fato de a condutividade térmica dos corpos depender vigorosamente do seu grau de integridade.

O equipamento de coleta de imagem converte a radiação infravermelha emitida pelo corpo em uma imagem térmica, capaz de mapear a temperatura. Os raios infravermelhos têm um comprimento de onda superior aos visíveis, podendo ser divididos em ondas curtas (2-5 μm) e ondas longas (8-14 μm), sendo que é neste último intervalo que trabalham as câmaras termográficas utilizadas em edifícios.

Desse modo, é possível detectar patologias não visíveis a olho nu. Tais imagens térmicas podem ser capazes de gerar dados qualitativos, com a visualização da heterogeneidade da temperatura do objeto ou também gerar dados quantitativos, sendo necessário considerar parâmetros ambientais no termógrafo, tais como temperaturas superficiais a analisar, temperatura ambiente, umidade relativa, distância da câmara termográfica à superfície e emissividade real da superfície (SANTOS; ROCHA; PÓVOAS, 2019).

Assim, independente da tipologia dos dados esperados, para ambos os casos, a termografia por infravermelho é realizada essencialmente com câmeras termográficas.

ficas, com auxílio de alguns acessórios, dependendo do estudo de caso, como por exemplo, termômetros de contato para determinação da emissividade e medidores de radiação térmica (MENDONÇA; AMARAL; CATARINO, 2013). Logo, segue-se algumas características pertinentes desse tipo de inspeção (Quadro 4):

Quadro 4 – Características do método de levantamento termográfico para mapeamento do estado de conservação em fachada.

Característica	Observação
Precisão	Em função dos fatores emissividade, refletividade, atenuação atmosférica, fontes de calor, vento, umidade relativa, incidência do sol, sombra, distância da câmara e cor superfície
Recursos Necessários	1 pessoa Máquina termográfica tripé e computador (para processamento das imagens)
Potencialidades	Técnica não destrutiva Segurança do operador Registro documental Observação de irregularidades nas fachadas Portabilidade dos equipamentos Ensaio noturnos Resultados em tempo real
Limitações	Condições variadas de ensaio podem apresentar resultados diferentes para um mesmo problema Impossibilidade de registros em fachadas menos acessíveis (distantes do nível mais baixo ou difícil acesso) Custo elevado Necessidade de profissional experiente

Fonte: Adaptado de Santos (2017).

2.1.5.4 Fotogrametria Terrestre Digital

Conforme descrito pela American Society of Photogrammetry em 1979:

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.

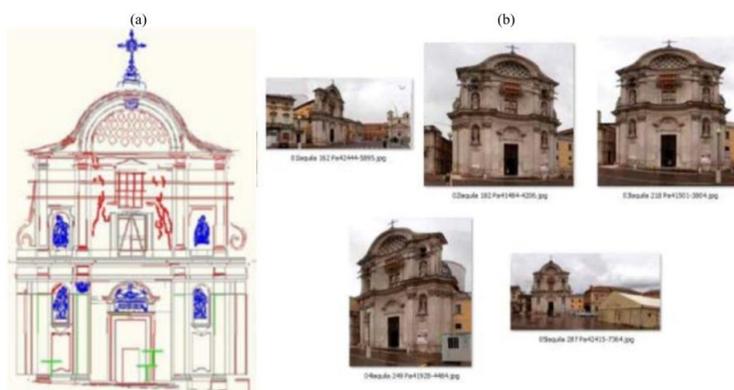
A fotogrametria digital terrestre ou à curta distância (Close Range Photogrammetry), é caracterizada por utilizar câmeras próximas a superfície da terra. Segundo Luhmann *et al.* (2006) as principais etapas de um levantamento fotogramétrico podem ser resumidas em:

Registro: obter-se as informações sobre o corpo estudado, como determinação de pontos de controle para implementação de sistema de coordenadas do objeto, dimensões de referência e a captura das imagens; Orientação: realiza-se o ajuste dos feixes de raios perspectivos para determinação dos parâmetros de orientação e correlação dos pontos de controle com os pontos da imagem; Restituição: com a orientação definida torna-se possível a obtenção de informações gráficas

ou geométricas, uma vez que o sistema bidimensional foi transformado no sistema tridimensional que representa o espaço-objeto. Existem dois principais tipos de restituição utilizados na construção civil, o primeiro trata-se da fotogrametria digital baseada em fotos convergentes e o segundo em fotogrametria esférica. O primeiro é o mais comum em levantamentos arquitetônicos, principalmente por permitir uma variedade maior de produtos, ser mais preciso e não exigir grandes calibrações ou informações referentes ao levantamento, uma das únicas exigências é que o objeto seja visível pelo menos em duas imagens e com ângulos de interseção preferencialmente entre 45° e 90° , permitindo uma maior precisão (BASTIAN, 2015). Já o segundo método baseia-se em um tipo de projeção cartográfica em que as imagens são recolhidas a partir de um único ponto (estação) de modo a cobrir total (360°) ou parcialmente o entorno. Depois disso as fotos são processadas em *software* para que seja gerada a imagem panorâmica pela junção de diversas imagens.

A Figura 3a, mostra a reconstrução virtual da fachada da Igreja de *Anime Sante em L'Aquila*, na Itália, com o uso de cinco panoramas com resolução de 10000×10000 pixels (Figura 3b), com utilização da técnica de fotogrametria esférica.

Figura 3 – Mapeamento Igreja de Anime Sante em L'Aquila.



Fonte: ANTIGA (2013)

O Quadro 5 objetiva expor as potencialidades, limitações, precisão e recursos necessários para tal inspeção.

2.1.5.5 Varredura com *Laser Scanner*

A nomenclatura para o sistema a *laser* é tomada de diferentes formas por distintos autores. Parte deles defendem a ideia de *Laser Detection and Ranging* (LADAR) (detecção e medição de distância usando *laser*), outros optam por *Light Detection and*

Quadro 5 – Características do método de levantamento fotogramétrico para mapeamento do estado de conservação em fachada.

Característica	Observação
Precisão	Em função da distância máquina fotográfica-objeto, das características, da resolução do equipamento e da objetiva utilizada
Recursos Necessários	1 pessoa Máquina fotográfica digital, objetiva, tripé e computador (para processamento das imagens)
Potencialidades	Técnica não destrutiva Simplicidade Segurança do operador Registro documental Observação de irregularidades nas fachadas Portabilidade dos equipamentos Edifícios em grande escala Registro da totalidade do alçado
Limitações	Escolha do <i>software</i> adequado para evitar distorções e desalinhamento das fotografias Gestão integrada dos dados recolhidos continua subjetiva, como no levantamento por fotografia Custo elevado Necessidade de profissional experiente

Fonte: Adaptado de Santos (2017).

Ranging (LIDAR) (detecção e medição de distância usando a luz). No entanto, o termo LADAR é mais utilizado por caracterizar o uso de *laser*. Ao longo deste texto, os termos “*laser scanner*” e “varredura a laser” serão utilizados com o mesmo significado.

A utilização do *laser scanner* na engenharia tange diversas áreas, como levantamentos topográficos e arquitetônicos, produção de modelos 3D urbanos, levantamento de linhas costeiras, de caminhos de ferro, monitoramento de diques e barragens. A técnica é capaz de gerar coordenadas tridimensionais de pontos pertencentes a um objeto em um curto espaço de tempo (BEIRÃO, 2011). Para tal, existem diversas tipologias de *laser scanner* disponíveis. Os dois principais são pulse *Time of Flight Laser Scanner* (TOF) e *Modulated Continuous Waveform* (MCW).

O primeiro emite pulsos de *laser* e mensura o intervalo de tempo entre o envio e o recebimento do pulso após ele refletir em uma superfície. Já o *MCW laser scanner* emite ondas de *laser* contínuas e usa a diferença de fase entre a onda emitida e o sinal refletido para estimar as distâncias entre o aparelho e a superfície (Akinci, 2009).

Através deste levantamento remoto de nuvens de pontos referenciados em 3D, é possível obter modelos computacionais do objeto. Ao contrário da fotogrametria, os dados recolhidos assumem desde o início a forma 3D da estrutura escaneada. Os arquivos gerados carregam informações de pontos no espaço (x, y, z), o valor de intensidade de retorno do pulso *laser* e, quando disponível, os valores de cor *RED GREEN AND BLUE* (RGB) dos *pixels* (BORDIN *et al.*, 2013).

Em estudo realizado por Pavi e Veronez (2014) averigua-se que o equipamento

pode ser utilizado para detectar patologias da construção civil como eflorescência, umidade, biodeterioração, fissuras e deformações. Além disso, favorece ao processo de inspeção para acompanhamento de evolução das patologias assim como desenvolvimento de algoritmos de classificação automática dos danos.

O Quadro 6 expõe algumas características do uso de *laser scanner* para identificação do estado de conservação.

Quadro 6 – Características do método de laser scanner para mapeamento do estado de conservação em fachada.

Características	Observação
Precisão	Em função do equipamento utilizado, chegando a 3mm
Recursos Necessários	1 pessoa Laser scanner, sistema de posicionamento, computador de alta performance, <i>software</i> para processamento
Potencialidades	Técnica não destrutiva Segurança do operador Registro documental Observação de irregularidades nas fachadas Portabilidade dos equipamentos Edifícios em grande escala Registro da totalidade do alçado Modelo 3D Observação visual direta pode ser totalmente descartada
Limitações	Tempo de recolha e processamento dos dados levantados Necessidade de <i>software</i> específico Custo elevado Necessidade de profissional experiente

Fonte: Adaptado de Santos (2017).

2.1.5.6 Remotely Piloted Aircraft (RPA)

A técnica aportada pelo uso de RPA, convencionalmente conhecidos como drone, está intrinsecamente associada a outros processos. Em algumas metodologias de inspeção predial os dados são capturados seguindo a metodologia de fotogrametria digital, semelhante a fotogrametria terrestre, como Melo *et al.* (2018) e em outros baseiam-se em métodos de levantamento fotográfico como Lisboa *et al.* (2018).

O uso de RPA em diversas vertentes tem crescido significativamente, o seu emprego para inspeção de fachadas tem se mostrado notadamente favorável. A técnica é capaz de capturar patologias observadas visualmente, além de melhorar significativamente a compreensão da análise com um custo relativamente baixo. Apesar das vantagens, a quantidade de dados gerados pode parecer caótica e difícil organizar, mapear e descrever danos. O Quadro 7 apresenta demais características do uso de RPA para inspeção predial.

Quadro 7 – Características do método de levantamento com drone para mapeamento do estado de conservação em fachada.

Características	Observação
Precisão	Varia de acordo com o equipamento de captura de mídias
Recursos Necessários	1 pessoa VANT, sistema de posicionamento, computador de alta performance, <i>software</i> para processamento, sensores e cameras
Potencialidades	Técnica não destrutiva Segurança do operador Registro documental Observação de irregularidades nas fachadas Portabilidade dos equipamentos e pequeno espaço de locação Edifícios em grande escala Registro da totalidade do alçado Inspeção em locais menos acessíveis
Limitações	Necessidade de <i>software</i> específico em alguns casos Limitações referentes a legislação para uso de VANT Necessidade de profissional experiente

Fonte: Adaptado de Santos (2017) e Lisboa *et al.* (2018).

2.2 TECNOLOGIAS PARA SUPORTE À INSPEÇÃO PREDIAL E CAPTURA DA REALIDADE

Conforme averiguado na primeira parte da revisão literária desse trabalho, e citado por Dezen-Kempter *et al.* (2015), os métodos mais comuns e tradicionais de adquirir dados referentes aos edifícios podem representar uma alternativa cara, morosa e incapaz de registrar fielmente uma edificação quanto maior a complexidade, nível de detalhamento e amplitude da estrutura.

Tecnologias de sensoriamento remoto e varredura impõem-se como relevantes alternativas ao processo por tratarem-se de métodos propícios a obtenção de uma grande quantidade de dados de forma rápida e precisa (DEZEN-KEMPTER *et al.*, 2015).

Visando elaboração de modelos tridimensionais e coleta de informações de fachadas, pesquisadores como Melo *et al.* (2018) tem se proposto a elaborar métodos e outros, como Bastian (2015) e Andrade (2012), verificam a possibilidade do uso de equipamentos compostos de diferentes sensores e tipos de coleta de informações. Porém, ainda não encontra-se na literatura algum método ideal para todas as tipologias de edifícios, quando trata-se de objetos e elementos compostos, ainda é necessário combinar diferentes sensores e informações de fontes distintas.

Geralmente, os sensores ópticos de gravação não invasivos são divididos em sistemas passivos e ativos. Sensores passivos (por exemplo, câmeras digitais) entregam dados de imagem que são processados com algumas formulações matemáticas para inferir informações 3D das medições de imagem 2D. Por outro lado, sensores ativos (por exemplo, *laser scanner*) podem fornecer dados diretamente em 3D (SANSONI;

TREBESCHI; DOCCHIO, 2009).

A escolha ou integração das tipologias depende da precisão necessária, dimensões do objeto, restrições de localização, portabilidade e usabilidade do instrumento, características da superfície, experiência da equipe de trabalho, orçamento do projeto, objetivo final da pesquisa e assim por diante (REMONDINO, 2011).

2.2.1 Sensor óptico ativo: *Laser Scanner*

Esse tipo de sensor registra diretamente a geometria 3D das superfícies, produzindo representações digitais 3D quantitativas (nuvens de pontos ou mapas de alcance) em um determinado campo de visão com uma incerteza de medição definida. Os sensores de alcance estão se tornando bastante comuns, em termos de construção civil, na comunidade de mapeamento e no campo do patrimônio, apesar de seus altos custos, peso e a habitual falta de boa textura (REMONDINO, 2011).

De acordo com Beraldin *et al.* (2007), os resultados da varredura a laser são em função de:

- Características intrínsecas do instrumento (calibração do sistema, princípio de medição, etc.);
- Características do material e cena digitalizados, em termos de reflexão, difusão e absorção da luz (resposta em amplitude);
- Características do ambiente de trabalho;
- Coerência da luz retro-espalhada (randomização de fase);
- Dependência do conteúdo cromático do material digitalizado (resposta em frequência)

Os tipos mais comuns de *laser scanner* são apresentados na Figura 4 com seus respectivos parâmetros mais relevantes.

Os *laser scanners* também podem ser usados em plataformas aéreas (helicópteros ou aeronaves de asa fixa). Atualmente, os *laser scanners* aéreos podem medir até 1,33 milhões de pontos por segundo, enquanto os sistemas com *scanners* terrestres podem medir até 222 mil pontos por segundo (ou, em alguns casos, até 976 mil pontos por segundo), a precisão da medição das curtas distâncias vem sendo aprimorada para milímetros (RIEGL, 2017).

Durante o escaneamento, com uso de sensores aéreos, cada ponto é expresso como coordenadas X, Y e Z. Os dados são capturados de diferentes posições e são agrupados formando nuvem de pontos em um sistema de coordenadas comuns. Como o equipamento utilizado é relativamente diferente dos *laser scanners* terrestres, a transformação de dados em um sistema de coordenadas comum também torna-se um

Figura 4 – Tipos mais comuns de equipamentos de varredura a laser.

	<i>Measur. principle</i>	<i>Sensor weight</i>	<i>Max FOV</i>	<i>Min/max range</i> ¹	<i>Angular accuracy</i>	<i>Range accuracy</i>	λ	<i>Camera</i>
Leica Scanstation2	TOF	18.5 kg	270 × 360	0.3–300	0.003°	4 mm @ 50 m	532	integrated, 1 Megapx
Leica C10	TOF	13 kg	270 × 360	0.3–300	0.006°	4 mm @ 50 m	532	integrated, 4 Megapx
Leica HDS6200	PS	14 kg	310 × 360	0.4–79	0.007°	3mm @ 50 m	670	add-on optional
Riegl VZ- 1000	TOF	9.8 kg	100 × 360	2.5–1,350	0.0005°	8 mm @ 100 m	NIR	add-on optional
Riegl VZ-400	TOF	9.8 kg	100 × 360	1.5–350/600	0.0005°	5 mm @ 100 m	NIR	add-on optional
Optech ILRIS HD-ER	TOF	14 kg	40 × 40 (360 × 360)	3–2,000	0.003°	7 mm @ 100 m	1535	integrated, 3.1 Mpx
Optech ILRIS HD-LR	TOF	14 kg	40 × 40 (360 × 360)	3–3,000	0.004°	7 mm @ 100 m	1064	integrated, 3.1 Mpx
Topcon GLS-1500	TOF	17.6 kg	360 × 70	1–330	0.006°	4 mm @ 150 m	NIR	integrated, 2 Mpx
Maptek I-Site 8800	TOF	14 kg	360 × 80	2.5–1,400	0.01°	10 mm	NIR	integrated, 70 Mpx
Trimble GX 3D	TOF	13 kg	360 × 60	<350	-	7 mm @ 100 m	532	integrated videocam
Trimble CX	TOF & PS	12 kg	360 × 300	1–80	0.004°	2 mm @ 30 m	660	integrated
Faro Photon 120	PS	14.5 kg	320 × 360	0.6–120	-	2 mm @ 10 m	785	integrated
Faro Focus3D	PS	5 kg	305 × 360	0.6–20/120	-	0.6 mm @ 10 m, 0.95 mm @ 25 m	905	integrated, 70 Mpx
Z+F IMAGER 5006	PS	13.2 kg	310 × 360	0.4–79	-	0.7 mm @ 25 m	VIS	add-on optional
Basis Surphaser 25HSX	PS	11 kg	270 × 360	0.2–70	0.01°	1 mm @ 15 m	690	add-on optional

Fonte: Remondino (2011)

pouco distinta. O sistema de georreferenciamento do equipamento aéreo é composto por um receptor de sistema de navegação por satélite Global Navigation Satellite System (GNSS) e uma unidade de medida inercial (*Inertial Measurement Unit* (IMU)) que juntos compõem o sistema de orientação e posição dos dados (DAUGÉLA *et al.*, 2017).

O modelo matemático, relativo às medições primárias do *scanner* a laser é descrito na Equação (1), em que 'R' representa o alcance, α ângulo de varredura, (Xo, Yo, Zo) o ponto de localização do equipamento, expresso pela posição do centro de fase da antena, e ω , φ e κ os ângulos de atitude do sensor em relação ao ponto de

referência (x, y, z) (PFEIFER; BRIESE, 2007).

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} + R_m \left(t + R_m \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos & \sin \\ 0 & -\sin & \cos \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -r \end{pmatrix} \right) \quad (1)$$

Além disso, "t" representa o deslocamento da antena GPS, R_m será o desalinhamento da IMU (devido ao fato de os sensores estarem posicionados nas faces mais externas do RPA).

Já para levantamentos com equipamentos terrestres, quando o objeto é varrido de alguns pontos distintos, as informações coletadas são o alcance 'r', o ângulo horizontal (α) e o ângulo vertical (β). No sistema de coordenadas do sensor, as coordenadas (x, y, z) do ponto são obtidas por uma conversão do sistema de coordenadas esférico em cartesiano pela fórmula Equação (2) (PFEIFER; BRIESE, 2007):

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = r \begin{pmatrix} \cos\alpha\cos\beta \\ \sin\alpha\cos\beta \\ \sin\beta \end{pmatrix} \quad (2)$$

A maior parte dos equipamentos de *laser scanner* possuem câmeras acopladas para posteriormente poder atribuir valores de cor (RGB) para cada pixel capturado. A Equação (3) e Equação (4) representam o cálculo para coordenada dos pontos da imagem em que (X,Y) representam as coordenadas da imagem, (X,Y,Z) as coordenadas da nuvem de pontos do laser e (X₀,Y₀,Z₀,R_{ij}) são os parâmetros de orientação no espaço conhecidos, uma vez que assume-se que a câmera está locada na mesma posição que o laser scanner (FORSTNER; WROBEL, 2016).

$$x = -c \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} \quad (3)$$

$$y = -c \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} \quad (4)$$

Os dados gerados a partir de nuvens de pontos e imagens da câmera indicam diferenças relacionadas à resolução dos *pixels*, radiometria, direção da iluminação e direção da visualização. Como consequência, quando o objetivo é integrar ambas as tipologias, a identificação dos pontos correspondentes entre as imagens geradas e as câmeras requer um algoritmo robusto de correspondência de recursos, insensível às diferenças de iluminação, escala e deve empregar descritores de região em vez de detectores de borda (FASSI *et al.*, 2013).

Os fabricantes de *laser scanner* costumam oferecer seus próprios *softwares* e *plugins* tanto para processar dados adquiridos, como para facilitar futuros trabalhos

com ferramentas de modelagem BIM, por exemplo, Revit (AUTODESK INC., s.d.), permitindo criação de elementos diretamente sobre a nuvem de pontos gerando medições precisas que podem ser usadas para qualquer tipo de análise e simulação (DAUGÉLA *et al.*, 2017).

Preliminarmente, para a aquisição de dados, é essencial estabelecer uma distribuição ideal das posições do equipamento para cobrir o espaço tridimensional ou o objeto a ser digitalizado completamente. Em particular, as posições devem ser bem distribuídas para cobrir toda a área desejada e nenhuma obstrução deve ser colocada na linha de visão do objeto de interesse. Também é necessário controlar o alcance em relação à precisão, pois quanto maior a distância do objeto, menor será a resolução e a precisão do produto final (QUINTERO *et al.*, 2008).

2.2.2 Sensor óptico passivo: Câmeras

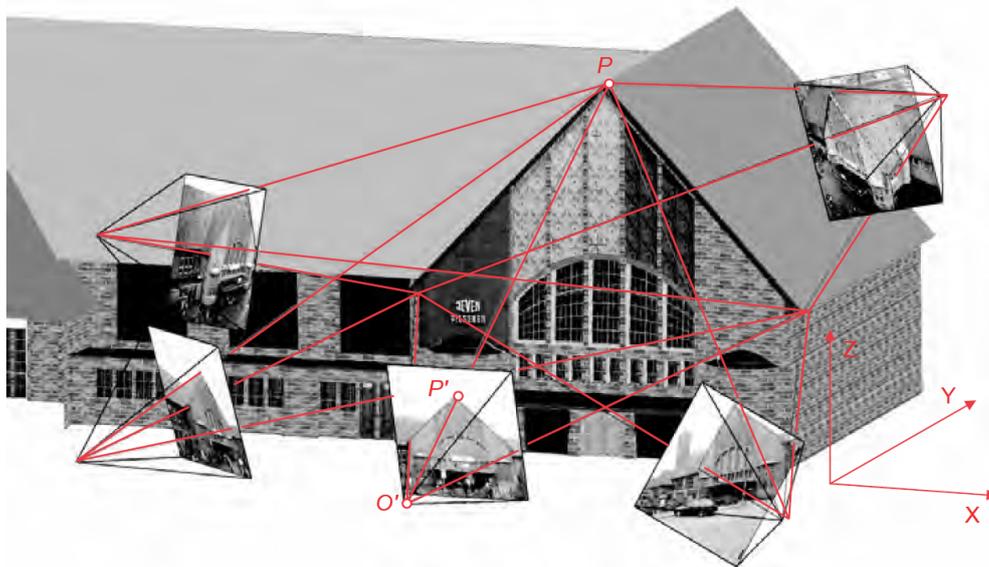
A fotogrametria é considerada a melhor técnica para o processamento de dados de imagem, podendo fornecer, em qualquer escala de aplicação, informações 3D assertivas, métricas e detalhadas com estimativas de precisão e confiabilidade dos parâmetros desconhecidos. As imagens podem ser adquiridas usando sensores de satélite, aéreos ou terrestres e processadas seguindo o processo fotogramétrico típico, com base na calibração do sensor, orientação da imagem, medição da superfície, extração de recursos e geração de ortofotografia (LUHMANN *et al.*, 2006). Os processos utilizando captura de imagens aéreas tem se sobressaído aos métodos terrestres devido a autonomia e versatilidade proporcionada.

Para a reconstrução de um objeto a partir de fotografias ou imagens, é necessário descrever o processo óptico pelo qual uma imagem é criada. Isso inclui todos os elementos que contribuem para esse processo, como fontes de luz, propriedades da superfície do objeto, o meio através do qual a luz viaja, tecnologia de sensores e câmeras, processamento de imagens, desenvolvimento de filmes e processamento adicional.

A forma e a posição de um objeto são determinadas pela reconstrução de feixes de raios, nos quais, para cada câmera, cada ponto de imagem P' , juntamente com o centro de perspectiva correspondente O' , define a direção espacial do raio para o ponto de objeto correspondente P (Figura 5). Fornecida a escala geométrica da imagem dentro da câmera e a localização espacial, todos os raios de imagem podem ser definidos no espaço de objetos 3D (LUHMANN *et al.*, 2006).

Tavani (2014) explica que a reconstrução em 3D é possível desde que existam pelo menos duas imagens da mesma cena obtidas de posições diferentes, isto é, de centros de projeções distintos e que, conhecendo a posição, a orientação e a distância focal, é possível encontrar a posição de um ponto no espaço a partir das coordenadas bidimensionais das imagens. Além disso, para o sucesso no processo de criação de

Figura 5 – Princípio da medição fotogramétrica.



Fonte: Luhmann *et al.* (2006)

dados tridimensionais, é importante que as superfícies apresentem texturas aleatórias, ou seja, sem padrões repetitivos ou coloração uniforme. Os padrões repetitivos ou com baixa textura dificultam a busca por pontos correspondentes em fotografias, assim como as superfícies espelhadas também não são favoráveis, pois refletem quaisquer padrões do seu entorno, fazendo com que um padrão possa aparecer em uma imagem e não aparecer em outra imagem (MELO *et al.*, 2018).

Além da fotogrametria, a visão computacional está recebendo grande interesse pelas aplicações de reconstrução 3D e está tendo uma influência crescente, especialmente no reconhecimento e extração de informações automaticamente de objetos. Mesmo que a precisão não seja o objetivo principal, as abordagens de visão computacional estão entregando resultados interessantes para visualização, navegação baseada em objetos, serviços baseados em localização, controle de robôs, reconhecimento de formas, realidade aumentada, transferência de anotações ou navegação por imagens (REMONDINO, 2011).

Vários são os termos utilizados para designar essa tecnologia e que têm como finalidade a obtenção da geometria de objetos e cenas a partir de imagens 2D (DONEUS *et al.*, 2011). Dentre os termos, são comumente utilizados: photo-based scanning (digitalização tridimensional baseada em fotografias), dense surface modeling (modelagem densa de superfície); e dense stereo matching (DSM) (densa correspondência estéreo) (MELO *et al.*, 2018).

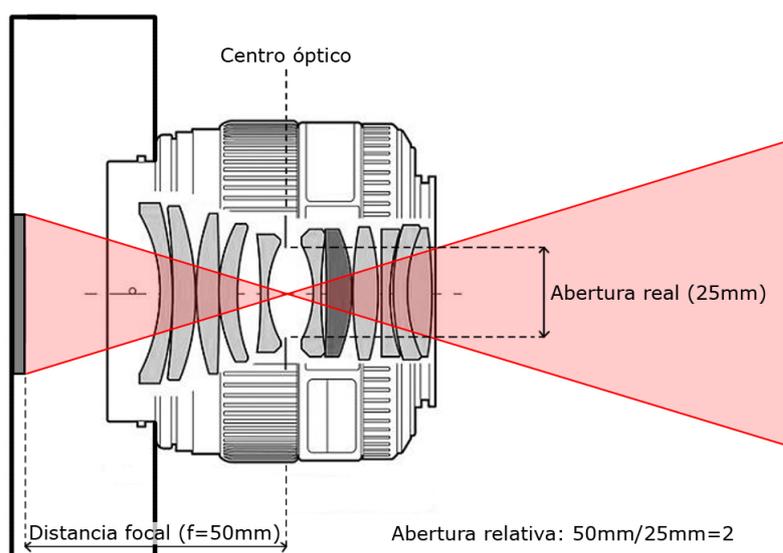
O sequenciamento de etapas consiste basicamente em: calibração e orientação da câmera, medições de pontos de imagem, geração de nuvens de pontos 3D, geração

de superfície e mapeamento de textura. A calibração da câmera é crucial para obter modelos precisos.

Dentre essas configurações nas câmeras há alguns parâmetros capazes de assegurar que os dados recolhidos são capazes de garantir profundidade de campo favorável e minimizar a difração que pode ser gerada pelas lentes. Assim, segundo Melo *et al.* (2018), para cada caso, em função das características da fachada e da luminosidade natural, os parâmetros a seguir podem ser ajustados:

- Distância focal: é a medida que define o quanto é possível capturar de um objeto em uma mesma fotografia. Quanto maior a distância focal, menor será o ângulo de visão de uma lente e uma parte menor do objeto será capturada por fotografia (Figura 6);

Figura 6 – Distância Focal.

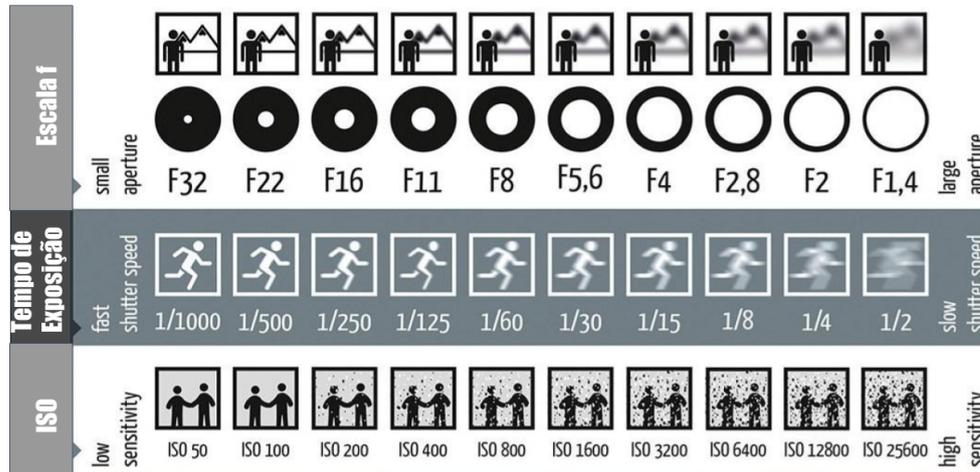


Fonte: Rozzo (s.d.)

- Abertura do diafragma ou escala de número f: corresponde ao ângulo de abertura das lentes, sendo responsável por definir a quantidade de luz que irá atingir o sensor. Quanto maior o valor da escala f, maior a abertura, mais luminosa será a objetiva e melhor a profundidade de campo (Figura 7);
- Tempo de exposição: o obturador é o dispositivo que abre e fecha dentro da câmera para controlar quanto a tempo a luz ficará atingindo o sensor dentro da máquina. Para maior abertura do diafragma, deve-se configurar menor tempo de exposição, ou seja, velocidades mais altas de fechamento do obturador para que uma quantidade de luz menor atinja o sensor (Figura 7);

- Sensibilidade ISO: define a sensibilidade do sensor, significando que quanto menor esse número, menor a sensibilidade, pouca luz é captada, quase não apresenta ruído e os contornos ficam mais nítidos (Figura 7).

Figura 7 – Característica sensores fotográficos.



Fonte: Fotifino (s.d.)

A medição da imagem pode ser realizada por meio de procedimentos automáticos ou semi-automáticos. No primeiro caso, ocorre através de nuvens de pontos muito densas, mesmo que à custa da imprecisão. No segundo caso, são obtidas medições muito precisas, em um número significativamente menor de pontos, e com o aumento do tempo de elaboração e operação (SANSONI; TREBESCHI; DOCCHIO, 2009).

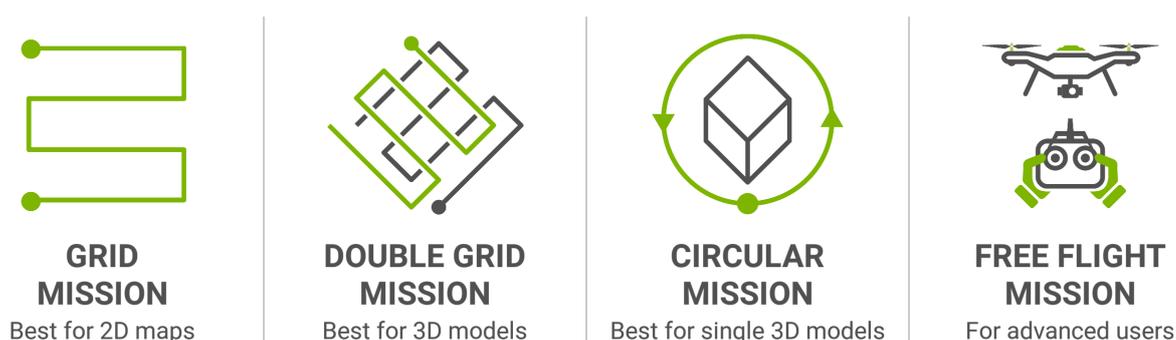
As câmeras digitais terrestres dispõem de uma vasta quantidade de formatos, comumente possuem pelo menos de 10 a 12 Megapixels de resolução e baixo custo, chegando a 40 Megapixels para câmeras melhores e com custo mais elevado. Câmeras capazes de gerar imagens lineares e panorâmicas conduzem a uma alta resolução de imagem e são favoráveis à obtenção de dados métricos. Porém, com o alto custo agregado a essas câmeras, tem-se utilizado conjuntos de imagens parcialmente sobrepostas, adquiridas de um ponto único que é girado em torno do seu centro. Essa solução além de baixo custo permite adquirir imagens em alta resolução e com grande potencial para aplicações métricas e para fins de modelagem 3D (BARAZZETTI *et al.*, 2010).

Com a finalidade de estudo de fachadas, as informações que precisam ser mapeadas em planos perpendiculares ao objeto. O uso de RPA combinado com o fluxo de trabalho fotogramétrico tem sido amplamente aceito para abordagens que necessitam de vistas laterais, como mapeamento de penhascos, caracterizados como locais inacessíveis e perigosos. Apesar disso, embora eficazes, a maioria dos aplicativos utilizados para obter informações se concentra no mapeamento de um único plano

bidimensional. Locais complexos, com variações de dimensões, exigem uma análise mais profunda das técnicas de coleta e processamento de imagens para reduzir as lacunas de dados e manter a precisão e os detalhes nas dimensões horizontal (x, y) e vertical (z) (NESBIT; HUGENHOLTZ, 2019).

Na estratégia convencional de aquisição de dados com RPAs uma certa quantidade de imagens é adquirida a partir de linhas de voo paralelas (Figura 8), normalmente em padrões norte-sul ou leste-oeste a uma altitude estável, com sobreposição constante (frente e lateral) e ângulo de câmera voltado para nadir (para baixo) (MARTIN *et al.*, 2016). Tal plano de voo com *grid* clássico é simples e pode ser gerado automaticamente apenas com a definição inicial de alguns parâmetros em aplicativos como *Pix4Dcapture* e *DroneDeploy*.

Figura 8 – Opções de voo aplicativo Pix4D.



Fonte: Pix4D (2018).

No entanto, como descrito por Martin *et al.* (2016) os planos de voo supracitados levam pouco em conta a geometria volumétrica da cena. Devido a isso eles não são considerados ideais para registrar informações expostas ao longo de fachadas verticais pois são propensos a maior deformação e chance de omissão dos sensores de visão nadir.

Assim, as soluções mais favoráveis para capturar fachadas incluem ajustar o ângulo da câmera aproximadamente paralelo ao plano vertical e girar o *grid* para que as linhas de voo sejam coerentes com o plano da fachada. Mesmo assim, com tais abordagens, os detalhes da edificação ainda podem não ser capturados, assim como informações geométricas de regiões mais complexas. Para tal lacuna Verykokou e Ioannidis (2018) propõem adquirir imagens oblíquas altas, que incluem o horizonte, e imagens oblíquas baixas, mais centradas no objeto.

Para a etapa seguinte, correlacionada com o processamento digital dos dados, os *softwares* disponíveis como Agisoft PhotoScan, Pix4D Mapper e Bentley Context-

Capture oferecem soluções extremamente automatizadas, em que diversas etapas complexas do processamento, como orientação e desenvolvimento de triangularização, são incorporadas e a interface com o usuário é tida apenas através de alguns botões. Porém, isso não elimina verificações manuais do usuário em que é necessário avaliar e revisar a qualidade dos dados, assim como realizar algumas configurações de acordo com o resultado esperado.

2.2.3 Estratégia de classificação dos dados

Além da importância e agilidade fornecida pelos sensores ópticos ativos e passivo como apoiadores à estratégias de inspeção predial, a fase de tratamento dos dados é igualmente relevante. A segmentação normalmente é a etapa que precede extração de características e classificação de dados.

O processo de segmentação é uma das técnicas capazes de subdividir imagens em uma ou mais regiões distintas satisfazendo critérios de uniformidade, independente do tipo de sensor utilizado para aquisição de dados. Ela pode também ser definida como um processo empírico que objetiva se adequar às características de cada imagem e às informações que se deseja extrair. Essa técnica, quando completamente autônoma, é considerada uma das etapas mais complexas do ponto de vista computacional e ainda é um desafio no campo de pesquisa em processamento de imagens (SOLOMON; BRECKON, 2013).

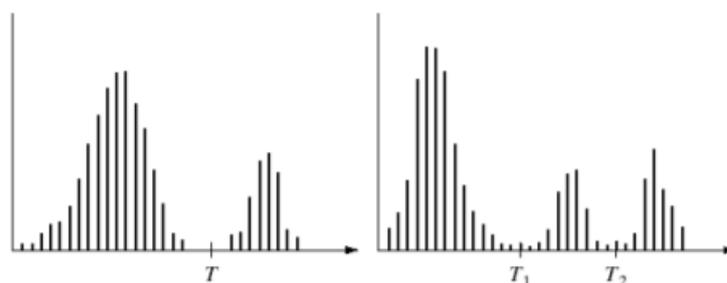
Um dos métodos possíveis para segmentação de imagem é a binarização, também conhecido como limiarização. A classificação dos pixels é normalmente baseada no histograma de uma propriedade, em geral, o nível de cinzento, também conhecido como luminosidade mas sem limitações para uso de outras escalas como RGB e o espaço *Hue, Saturation and Value* (HSV).

A binarização possui duas vertentes principais, a primeira delas pode utilizar um único ponto de corte (*o threshold*) para a separação entre as classes, como "claro e escuro", no caso da análise do nível de luminância. Já a segunda refere-se aos casos quando um único valor não é capaz de qualificar uma boa segmentação, assim, é utilizada a técnica de limiarização variáveis e multiníveis (*multilevel thresholding*) (PADILHA, 1998).

A observação de um histograma do objeto de estudo permite localização do melhor valor ou intervalo para segmentação dos dados. Na Figura 9, os vales dos histogramas foram definidos como limiares, caracterizando os valores que irão classificar a imagem. No primeiro histograma da figura um único ponto T é definido como ponto de corte, separando duas classes. Já no segundo histograma T_1 e T_2 indicam que há dois valores que segmentam os dados, gerando assim, três conjuntos de dados segmentados.

Na Figura 10, os limiares previamente definidos pelo histograma são organizados em intervalos para que ocorra a binarização dos dados (SOBRAL, 2002).

Figura 9 – Histograma de cores.



Fonte: Sobral (2002).

Figura 10 – Equação de Binarização.

$$g(x,y) = \begin{cases} 0 & \text{se } f(x,y) < T_1 \\ 1 & \text{se } T_1 \leq f(x,y) < T_2 \\ 2 & \text{se } T_2 \leq f(x,y) < T \\ \dots & \end{cases}$$

Fonte: Sobral (2002).

3 METODOLOGIA

Esse trabalho é caracterizado como um estudo de caso pois, de acordo com Yin (2001), tal estratégia de pesquisa abrange planejamento e abordagens específicas de coleta e análise de dados. O estudo de caso é entendido como uma investigação empírica capaz de tratar um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto na vida real, sendo adotado em casos como circunstâncias complexas, que podem mudar e quando as condições que dizem respeito não foram encontradas antes (LLEWELLYN; NORTHCOTT, 2007).

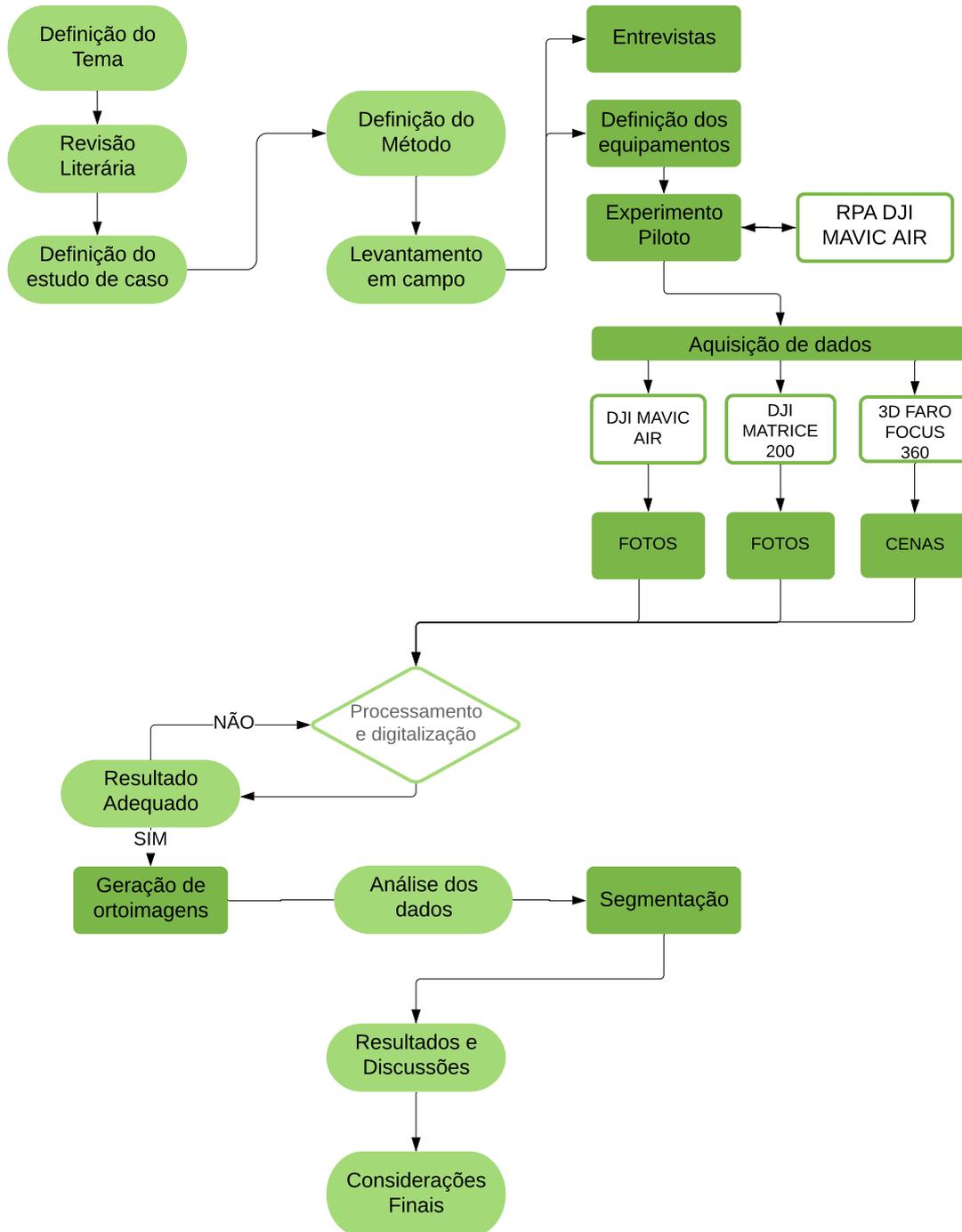
Considerou-se a edificação do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da UFSC como caso de estudo, para obtenção de estratégias de inspeção de fachadas. Somado a isso, esse trabalho também é caracterizado como uma pesquisa de campo, devido à coleta de dados in loco sobre o edifício estudado e pela realização de entrevistas. As informações necessárias para essa pesquisa foram coletadas em diferentes momentos no decorrer do trabalho.

A abordagem utilizada caracteriza-se como quali-quantitativa. O levantamento de dados quantitativos foi oriundo de medições realizadas em ortoimagens capturadas em campo do edifício e os dados qualitativos foram recolhidos pela realização de entrevistas e pela observação da autora no processo de coleta de dados.

3.1 MÉTODO DA PESQUISA

Para melhor apresentar o método adotado nessa pesquisa, foi elaborado o fluxograma da Figura 11, que apresenta uma síntese dos procedimentos adotados.

Figura 11 – Método utilizado na pesquisa.



Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

3.2 PROCEDIMENTO DA PESQUISA

3.2.1 Caracterização do estudo de caso

Para definição do local de estudo de caso buscou-se um imóvel que possuísse características não usuais para análise de imagem e ponto, como cor, textura, forma e entorno. Assim, para teste da estratégia elaborada foi assumido o estudo do prédio do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina.

Tal edificação localiza-se na rua Engenheiro Agrônomo Andrei Cristian Ferreira, no bairro da Carvoeira na cidade Florianópolis, próximo a outros bairros que compõem o entorno da Universidade Federal de Santa Catarina. O projeto foi coordenado pelos Arquitetos Enrique H. Breno, Felipe B. Mendes e Maurício P. Holler. A área construída é representada por 2.071,68 m^2 , segundo o projeto, comportando quatro pavimentos.

A edificação se sobressai dentre as demais da universidade devido à sua forma, escadas de acesso externas à torre, janelas em duas fachadas opostas (estimulando a ventilação cruzada), presença de brises e notável distinção pela sua pintura completamente branca (Figura 12), atualmente afetada pela presença de patologias.

Figura 12 – Edifício de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina.



Fonte: Lopes (2013)

O estudo de caso apresenta características relevantes que ajudaram a testar a eficiência das estratégias que foram adotadas, conforme Quadro 8.

3.2.2 Levantamento em Campo

3.2.2.1 Elaboração e aplicação de entrevistas com profissionais da área

As entrevistas realizadas constituem parte da análise qualitativa deste trabalho, com o objetivo de compreender como os profissionais que atuam na área de recupe-

Quadro 8 – Características Edifício Arquitetura e Urbanismo.

Temática	Especificação no local
Entorno	Região sem prédios próximos, poucos carros e algumas árvores
Cor	Homogênea: Branca
Forma	Paredes curvas, janelas e fachadas com brises
Textura	Uniforme e lisa
Cobertura	Acessibilidade limitada
Patologias	Visíveis
Material	Estrutura em concreto armado e paredes de alvenaria

Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

ração de fachadas realizam seus serviços de inspeção, mapeamento e quantificação das patologias existentes nos edifícios, contribuindo assim para a identificação de qual o estado de conservação dos mesmos.

As perguntas realizadas foram as mesmas para todos os participantes. Nenhum deles possuía conhecimento das estratégias estudadas na presente pesquisa. Somente após a finalização das respostas foi apresentado aos mesmos o intuito do trabalho de forma mais clara, evitando que respostas pudessem ser induzidas.

Para obter os resultados das entrevistas, foram agendados encontros presenciais e conversas à distância com profissionais aleatoriamente escolhidos. Todos os diálogos foram gravados e posteriormente transcritos e analisados. As perguntas da entrevista e transcrições das respostas podem ser averiguadas nos Apêndices A, B e C no final desse trabalho.

Visando preservação da identidade dos profissionais e garantir a liberdade dos entrevistados ao responder as perguntas de forma espontânea, nenhum nome foi divulgado nesta pesquisa. O Quadro 9 expõe um resumo das características dos entrevistados.

Quadro 9 – Resumo dos entrevistados.

Entrevistado	Formação	Tipo de Empresa	Tempo de Experiência	Apêndice
Entrevistado 1	Ensino Médio	Empreiteira	30 anos	Apêndice A
Entrevistado 2	Engenheiro	Empreiteira	6 anos	Apêndice B
Entrevistado 3	Engenheiro	Laudos e Perícias	7 anos	Apêndice C

Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

As perguntas foram divididas em perfil do entrevistado e empresa e em outros três blocos. O primeiro bloco dizia respeito a conhecimentos gerais sobre o trabalho de reforma em fachadas, buscando entender os principais desafios já enfrentados pelo profissional e empresa. Já o segundo bloco focou em entender, pela experiência do profissional, quais os principais e mais recorrentes problemas encontrados nas fachadas e como os dados de quantificação eram extraídos, focando em edifícios altos e de geometria complexa. Por fim, o último bloco buscou entender se o profissional tinha

noção ou conhecimento de tecnologias que poderiam auxiliar no melhor desempenho e precisão para inspeção de fachadas de edifícios .

3.2.2.2 Equipamentos

Para a documentação da fachada foram utilizados dois sensores ópticos passivos (câmeras fotográficas acopladas a RPAs) e um sensor ativo (*laser scanner* terrestre).

O *laser scanner* 3D FARO Focus 360 (Figura 13) foi o escolhido para a realização das medições, devido à parceria firmada com a empresa fabricante FARO. Tal equipamento é baseado no princípio de mudança de fase, em que a medição da distância entre o objeto alvo e o equipamento depende da diferença no sinal entre o raio laser emitido e o retorno, com comprimento de onda de 905nm. As principais características associadas ao equipamento são a alta precisão, resolução, velocidade e também o tamanho pequeno e leve. Além disso, o FARO Focus 3D integra uma câmera digital colorida, compensador de eixo duplo, bússola digital e altímetro. Ele é capaz de medir distâncias em um intervalo de 0,6 a 350m, com velocidade de medição de 976.000 pontos por segundo. A precisão dos dados varia em torno de 1mm em condições normais de iluminação e refletividade. O campo de visão cobre 320° na vertical e 360° na horizontal. Com relação as características físicas, a ferramenta possui 30x18x103mm de dimensão, peso de aproximadamente 4,2kg e tempo de bateria 4 a 5 horas (FOCUS, 2018).

Figura 13 – Equipamento 3D FARO Focus.



Fonte: Technologies (2018)

Com relação aos sensores passivos utilizados, foram empregadas câmeras acopladas aos RPAs *DJI Mavic Air* e *DJI Matrice 200*, ambos fabricados pela empresa *SZ DJI Technology Co.*

Para o *DJI Mavic Air* a ferramenta de imagem utilizada foi a mesma que acompanhou o equipamento desde fábrica e para *DJI Matrice 200* foi acoplada a câmera térmica *Zenmuse XT2*, idealizada pela *DJI* em parceria com a empresa *FLIR*. Ela distingue das demais por possuir duas lentes e dois sensores, integrando um sensor térmico *FLIR* de alta resolução (até 640 x 512 *pixels*), a câmera é capaz de obter mapas térmicos aéreos, focar observação em objetos e avisar quando a temperatura da região aumenta (SOUZA, 2018).

Para os dois equipamentos a Tabela 3 mostra suas principais características.

Tabela 3 – Tipologias de RPAs utilizadas no trabalho e respectivas características.



Dados Técnicos	DJI Mavic Air	DJI Matrice 200
Tamanho do Sensor CMOS	1/2.3", 12 MP	1/1,7", 12 MP
Tamanho do Pixel (μm)	15	17
Lente (campo de visão - FOV)	FOV 85° (24 mm) f/2.8	FOV 57.1° x 42.4° (13 mm) f/2.2
Peso RPA	430g	4,69 kg
Dimensões RPA	168x83x49mm	883x886x398 mm
Autonomia Bateria	21 minutos	24 a 38 minutos

Fonte: Adaptado de Burdziakowski (2018) e Co. (2018b).

3.2.2.3 Experimento Piloto

Antecedendo a etapa de aquisição de dados, a fim de averiguar como os resultados poderiam ser encontrados para o estudo de caso escolhido, foram realizados testes pilotos através de levantamentos *in loco* com RPA. A Tabela 4 resume tal procedimento.

No dia 16 de maio ocorreu o primeiro levantamento de dados em parceria com a empresa *VeM Associados* que disponibilizou e manuseou o equipamento, sendo ele o RPA *DJI Mavic Air* e utilizados os aplicativos *DroneDeploy* e *Pix4D* para recolher as imagens. O primeiro plano de voo realizado é conhecido como o método estrutura, em que toda a edificação é sobrevoada, paralelamente ao solo, com *grid* duplo (voo cruzado) e câmera posicionada a nadir. Ao fim do *grid*, o RPA percorre todo o perímetro

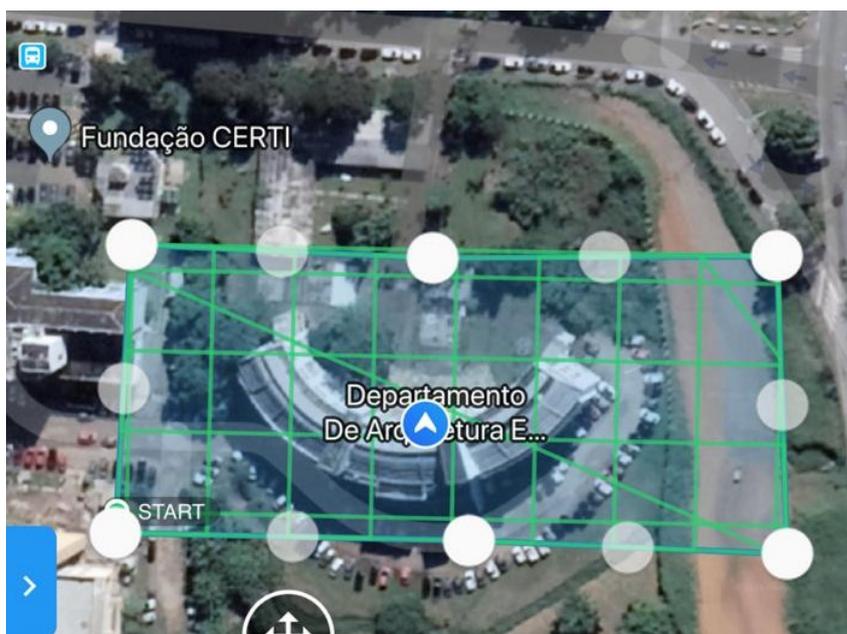
Tabela 4 – Tipologias de RPAs utilizadas nos experimentos pilotos e respectivas características.

Equipamento	Data	Estratégia Adotada	Aplicativos de apoio
DJI Mavic Air	16 de maio de 2019	Método estrutura: Grid duplo com fotos oblíquas	DroneDeploy
DJI Mavic Air	16 de maio de 2019	Grid duplo	DroneDeploy
DJI Mavic Air	16 de maio de 2019	Método de voo manual Paralelo a fachada	Pix4D
DJI Mavic Air	25 de julho de 2019	Método estrutura: Grid duplo com fotos oblíquas	Pix4D

Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

da região delimitada pelo plano de voo com a câmera focada no edifício e inclinada. A Figura 14 demonstra o plano de vôo usado nesse teste piloto.

Figura 14 – Plano de voo no aplicativo Dronedeploy.



Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

Para o segundo plano de voo utilizou-se a mesma metodologia porém sem as imagens oblíquas do perímetro.

Nesses dois casos, após o desenho do mapa com delimitação da região e definição de características básicas como sobreposição de imagem, altura de voo e velocidade no aplicativo Dronedeploy, o RPA é capaz de realizar automaticamente a aquisição de imagens, o operador do equipamento apenas precisa dar o comando de iniciar.

Já no último teste a captura de imagens precisou ser realizada manualmente,

pois tomou-se aleatoriamente uma parede da edificação para realizar um plano de voo paralelo à fachada, conforme demonstrado na Figura 15.

Neste caso o aplicativo não é capaz de recolher os dados automaticamente devido ao fato de não haver a opção de desenhar o mapa no plano vertical. Existem algumas soluções no mercado capazes de realizar tal trabalho porém são ferramentas pagas, como o *Facade Scan* da UgCS.

O aplicativo Pix4D foi o escolhido para aquisição das imagens nesse caso, pois, com ele é possível programar para que seja capturada uma foto a cada deslocamento pré estabelecido. Para o teste, o operador definiu que a cada movimento de 2m lateral ou vertical do RPA uma foto seria capturada, assim, o equipamento foi movimentado pelo controle remoto em linhas paralelas a edificação, formando um mapa manualmente conforme deslocamento.

Figura 15 – RPA recolhendo imagens paralelamente à fachada.



Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

Novos testes foram realizados no dia 25 de julho 2019, testou-se então pela segunda vez o modo estrutura, com o objetivo de encontrar a área mais adequada para realizar as etapas posteriores do trabalho.

3.2.2.4 Definição da Região de Estudo

O estudo foi limitado a uma parcela da edificação para que os dados recolhidos pudessem ser analisados com mais detalhe. Assim, após sobrevoar todo o entorno nos experimentos pilotos e verificar a geometria complexa da edificação, almejava-se delimitar uma área que abrangesse a maior parte da complexidade das fachadas desse caso de estudo, com o intuito de validar as estratégias propostas e os resultados encontrados nesse trabalho perante todo o edifício. As Figuras 16 e 17 mostram com detalhes a região da fachada delimitada por essa pesquisa.

Figura 16 – Região de estudo, vista superior.



Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

Na Figura 17, a área a direita é composta por uma parede plana, com pequenas janelas, já a esquerda a edificação passa a ser curva, com brises e janelas que ocupam grande parte da fachada, sendo essa a parte mais complexa da região de estudo.

3.2.2.5 Aquisição dos dados com *Laser Scanner*

No dia 03 de julho 2019, em parceria com a fabricante de *Laser Scanner*, FARO, ocorreu o levantamento dos dados usando um equipamento de *Laser Scanner*. A empresa disponibilizou um equipamento e um de seus engenheiros para que o trabalho pudesse ser realizado. Na ocasião o dia estava parcialmente nublado, com baixa probabilidade de chuva e sem raios solares incidindo sobre a edificação.

O método utilizado para escanear o edifício foi o deslocamento aberto, que começa no primeiro ponto e segue até que termine em uma outra posição próxima a

Figura 17 – Região de estudo, vista frontal.



Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

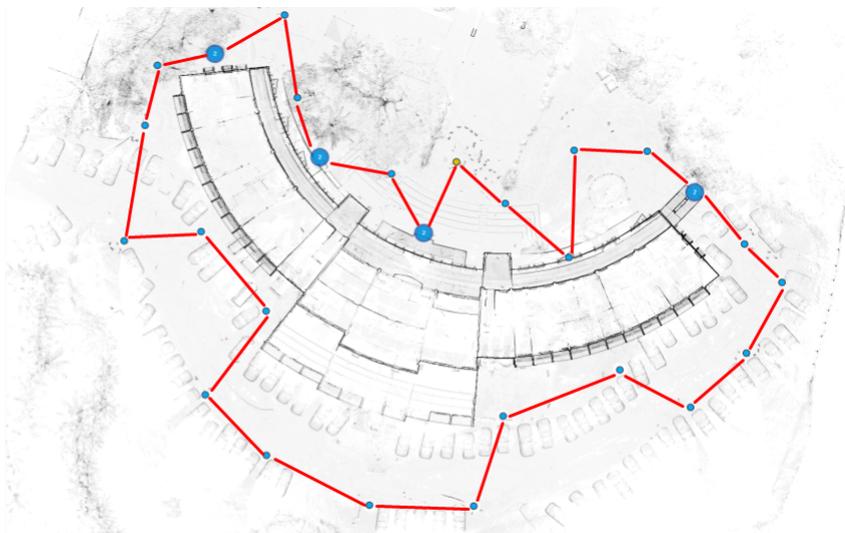
primeira. Tal método envolve vincular cada verificação à anterior mantendo regiões visíveis em ambas, capazes de gerar referências para o próximo posicionamento (CHATZISTAMATIS *et al.*, 2018). O deslocamento e posicionamento do *laser scanner* foi realizado pelo engenheiro da FARO.

O campo de visão do *laser scanner* foi definido em todas as posições (Figura 18) considerando que houvesse sobreposição suficiente (mais de 30% entre duas digitalizações consecutivas). Uma sobreposição de 30% a 50% entre as varreduras adjacentes garante a geração de uma reconstrução tridimensional precisa. Ao fim, foram levantadas um total de 32 cenas, para cada uma delas o equipamento leva entre 6 e 7 minutos para capturar todos os dados. Como o entorno do edifício não possui obstáculos, foi possível manter a sobreposição desejada e visualização correta da edificação para cada uma das cenas.

Durante a coleta de dados, fotografias são capturadas pela câmera digital integrada ao equipamento para que posteriormente cores possam ser aplicadas nas reconstruções geradas. A Figura 19 apresenta a imagem capturada em uma das cenas. Além disso, foram realizadas medidas nos dois sensores integrados ao equipamento, a bússola digital e o inclinômetro, informações úteis para o registro posterior das digitalizações.

Apesar da definição de uma área para o estudo, os dados coletados são referentes a toda a edificação, isso se deve a parceria com a fabricante (FARO) permitindo que os resultados sejam objeto de estudo para outras atividades e trabalhos futuros.

Figura 18 – Esboço edifício com posições do *laser scanner* (pontos azuis), caminhamento entre as cenas (linhas vermelhas) e campo de visão de cada cena (região próxima aos pontos azuis).



Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

Figura 19 – Fotografia capturada pelo *Laser Scanner* para posterior inserção de cores nos pontos recolhidos.



Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

3.2.2.6 Aquisição dos dados com RPAs

Após os testes pilotos com o equipamento DJI Mavic Air (Capítulo 3.2.2.3) decidiu-se realizar o levantamento da área delimitada nesse estudo usando dois tipos diferentes de RPAs. A Tabela 5 resume o processo de aquisição de dados.

Para os levantamentos fotográficos foram utilizados diferentes posicionamentos do equipamento e processos de captura distintos, conforme apresentado a seguir. A

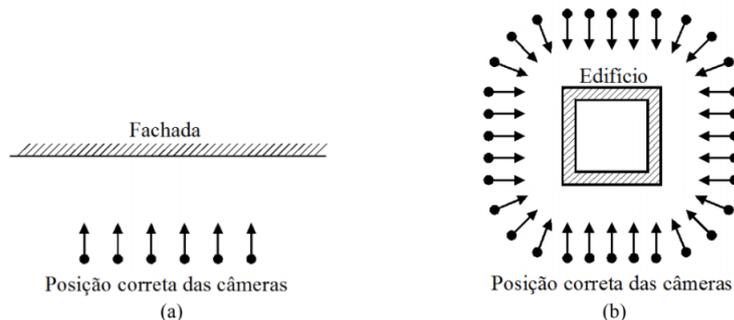
Tabela 5 – Tipologias de RPAs utilizadas no trabalho e respectivas características.

Equipamento	Data	Estratégia Adotada	Aplicativos de apoio
DJI Mavic Air	02 de setembro de 2019	Método de voo manual Paralelo a fachada	Pix4D
DJI Mavic Air	02 de setembro de 2019	Método de voo manual Oblíquo a fachada	Pix4D
DJI Matrice 200	02 de agosto de 2019	Método de voo manual Paralelo a fachada	Pix4D
DJI Matrice 200	02 de agosto de 2019	Método de voo manual Oblíquo a fachada	Pix4D

Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

primeira técnica utilizada refere-se ao procedimento em que a câmera é posicionada paralela e perpendicular às fachadas da edificação, conforme Figura 20a e para as regiões não paralelas são registradas fotografias conforme a Figura 20b.

Figura 20 – (a) Posicionamento para captura dos dados de um plano; e (b) Posicionamento para captura dos dados do entorno da edificação.



Fonte: Agisoft (2014)

Com relação a sobreposição de imagens, a Equação (5) proposta por Melo *et al.* (2018 apud BRITO; N. J. GROETELAARS; A. L. DE AMORIM, 2012) assegura a precisão geométrica e a baixa variação do tamanho dos *pixels* quando o valor de 'R' estiver dentro do intervalo de 0,1 a 0,5. A variável B indica a distância entre a posição das estações para aquisição de fotografias e L, a distância das estações para o objeto fotografado.

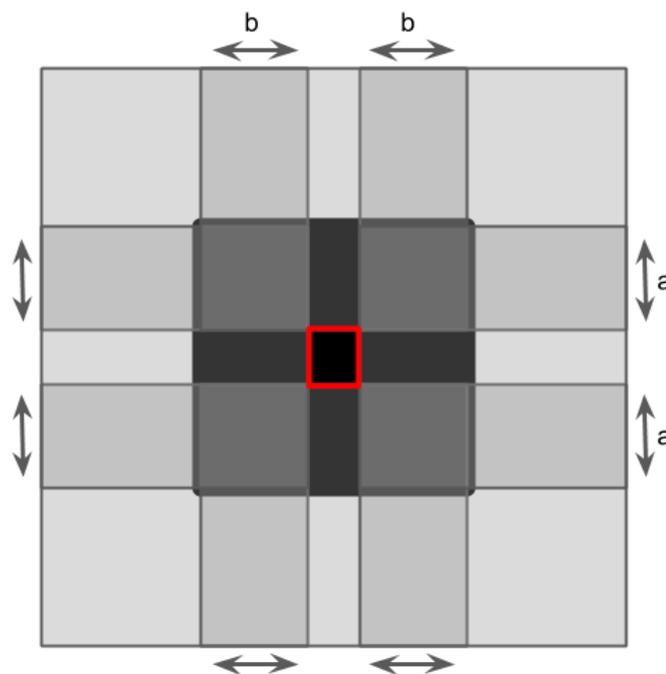
$$R = \frac{B}{L} \quad (5)$$

Após o valor de sobreposição validado (valores presentes no capítulo 4), calculou-se uma estimativa do número de fotos para a reconstrução fotogramétrica adequada.

Nesse trabalho, adotou-se sobreposição lateral e vertical de 80% que corresponde respectivamente a soma das regiões *a* e *b* da Figura 21. A área de cobertura

única, ou seja, sem sobreposição representa 4% da área da foto (retângulo em vermelho na Figura 21).

Figura 21 – Sobreposição lateral e vertical de 80% resultando em 4% de área única (região preta).



Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

Assim, a área única pode ser calculada pelo produto da dimensão representativa (4%) pela área da foto (A_{foto}), conforme Equação (6).

$$A_{única} = 04\% \cdot A_{foto} \quad (6)$$

Para a determinação da área da foto, é preciso obter as dimensões da base e altura que podem ser calculadas pela Equação (7), em que α representa o ângulo de abertura horizontal e vertical da lente da câmera (em graus) e d a distância da câmera ao objeto (m).

$$z = \left(\tan \frac{\alpha}{2}\right) \cdot 2d \quad (7)$$

Por fim, a estimativa da quantidade de fotos, Equação (8), é resultado da razão entre a área de interesse pelo valor da área de foto única.

$$NumFotos = \frac{Area}{A_{única}} \quad (8)$$

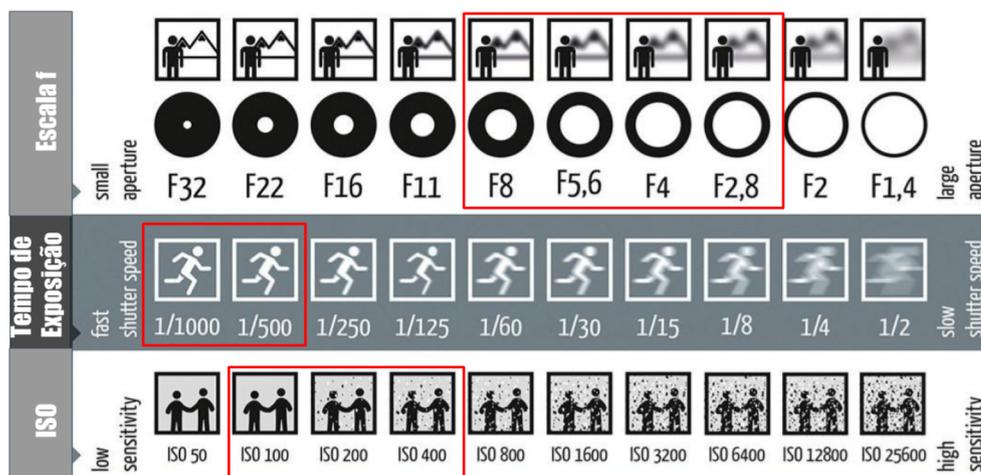
A complexidade da forma geométrica da edificação levou a adição de uma segunda tipologia de plano de voo buscando a captura da maior quantidade de detalhes. Logo, realizou-se voos para obtenção de imagens oblíquas. A câmera foi configurada

com um ângulo de inclinação de 45° para obter imagens do telhado e de parte da fachada.

Após a definição das tipologias de voo, para os dois equipamentos, foi necessário estabelecer alguns parâmetros para assegurar que os dados recolhidos fossem capazes de garantir profundidade de campo favorável e minimizassem a difração que pode ser gerada pelas lentes. Para cada experimento, em função das características da fachada e da luminosidade natural, os parâmetros foram ajustados, destacando-se os citados no Capítulo 2.2.2 e frisados na Figura 22:

- Abertura do diafragma ou escala de número f: entre 2,8 e 7,1;
- Tempo de exposição: por se tratarem de imagens aéreas naturalmente exige-se maiores velocidades, como 1/800, 1/1.000, 1/1.250 e 1/1.600;
- Sensibilidade ISO: utilizou-se para a pesquisa tipicamente ISO ente 125 e 400.

Figura 22 – Características dos sensores fotográficos dos levantamentos.



Fonte: Fotifino (s.d.)

Tendo todas as informações definidas, o primeiro equipamento utilizado para recolher os dados foi o mesmo empregado nos experimentos pilotos o DJI Mavic Air (Figura 23), especificado no capítulo 3.2.2.3.

As fotografias foram recolhidas através dos aplicativos Pix4D capture e DJI GO 4. Para os planos de voo paralelos à fachada foi necessário utilizar o método manual de captura de dados, conforme já citado no Capítulo 3.2.2.3.

O voo ocorreu no dia 2 de setembro, as condições climáticas estavam favoráveis para a captura dos dados, principalmente por ser um dia nublado. Porém, depois de algumas horas o céu ficou nublado o suficiente para que o RPA não fosse mais capaz

Figura 23 – Realização da aquisição de dados com RPA DJI Mavic Air.



Fonte: Recolhido em campo pela autora (2019).

de detectar a quantidade de satélites necessárias para sua localização no espaço e o voo precisou ser interrompido.

O equipamento foi manuseado por profissionais habilitados e as fotografias foram tomadas para a região pré estabelecida de estudo e mais alguns metros no perímetro, para que a sobreposição fosse garantida.

Como a edificação possui paredes curvas as linhas de voo foram realizadas no sentido vertical assegurando o paralelismo da fachada e para cada nova linha de voo o RPA precisou ser movido para frente ou para trás acompanhando a curvatura da edificação. Caso as fotos fossem tomadas em linhas horizontais a alteração da posição do equipamento seria de foto em foto, onerando o mais trabalho.

Da mesma forma como no estudo com o *laser scanner* o fato de não haver grandes restrições de deslocamento ao redor da edificação facilitou o levantamento de dados. Caso fosse uma zona densamente povoada com grande concentração de edifícios e automóveis haveriam algumas implicações na aquisição das fotografias, desde interferências eletromagnéticas no aparelho, até condições de privacidade nos edifícios vizinhos.

No dia 2 de agosto um voo semelhante foi realizado, com as mesmas configurações iniciais porém com equipamento e condições climáticas distintas (Figura 24). Nesse dia havia incidência de raios solares sobre a edificação, causando sombreamento em partes da estrutura e alteração nas cores das imagens recolhidas. O equipamento utilizado foi o DJI Matrice 200 disponibilizado pelo laboratório Fotovoltaica da UFSC e manuseado por um de seus membros.

Para ambos os casos, por se tratar de um processo manual, o tempo de voo

Figura 24 – Realização da aquisição de dados com o RPA DJI Matrice 200.



Fonte: Recolhido em campo pela autora (2019).

variou de acordo com a velocidade da movimentação do equipamento pelo condutor. Assim, para extração de dados da região delimitada para pesquisa foram necessários cerca de 10 minutos.

3.2.3 Processamento e digitalização

3.2.3.1 Processamento e digitalização das cenas para *Laser Scanner*

Os dados capturados pelo *laser scanner* foram as cenas, cada uma delas recolhidas e armazenadas separadamente. A etapa seguinte consistiu no posicionamento no sistema de coordenadas universal, em que a posição e orientação de cada uma delas foi alterada para que juntas, as cenas fossem capaz de representar uma reconstrução tridimensional.

Durante a pesquisa apresentada nesse trabalho, o software FARO SCENE (FARO, 2018) foi utilizado para o processamento e digitalização. O processo de registro ou alinhamento das cenas capaz de alocar os pontos correspondentes entre as cenas na mesma posição ocorreu usando o método nuvem-a-nuvem que tenta alinhar as verificações com base em áreas comuns, com a restrição de que haja sobreposição suficiente (maior que 30%) entre duas verificações consecutivas. Para o registro, o processo utiliza recursos extraídos das cenas, em que há correspondência de uma cena a outra para assim possibilitar a estimativa de aproximação inicial entre os pontos. Depois disso, a etapa de minimização de erros é realizada utilizando um algoritmo de correspondência de superfície, como é o caso do ponto mais próximo iterativo, em

que para cada iteração, o algoritmo busca reduzir as distâncias entre os respectivos pontos, aproximando as cenas.

Após a finalização do registro da nuvem de pontos, aplicou-se dois filtros. O primeiro deles consistiu em remoção de objetos externos a fim de eliminar pontos isolados e indesejados, com ruídos. Já o segundo deles correspondeu aos cortes para isolar a área de estudo.

O próximo passo foi aplicar a textura e cor na nuvem de pontos segmentada usando as fotos adquiridas do scanner que foram mapeadas automaticamente para as medidas de pontos correspondentes. Ao fim desse processo as cenas formam então a nuvem de pontos digitalizada do edifício, podendo ser exportada para outros softwares.

A nuvem então foi recortada para a região de estudo e exportada em formato ".e57". Tal arquivo foi inserido no software *Bentley ContextCapture Master* para gerar uma malha 3D, também conhecida como do inglês *Mesh 3D*, que transforma a nuvem de pontos em uma reconstrução tridimensional composta por polígonos. Tal etapa foi necessária para que o modelo gerado pelo *laser scanner* pudesse se assemelhar aos gerados pelos RPAs, visto que estes foram processados com *Mesh 3D*.

3.2.3.2 Processamento e digitalização das imagens para RPA

A orientação das imagens e a digitalização 3D foram realizadas com o pacote Bentley Context Capture com o fluxo de trabalho definido por: orientação automática da imagem por Structure-from-Motion (SfM), ajuste de bloco de pacotes, reconstrução 3D por malha poligonal, mapeamento de textura e orto produção de imagens, conforme Apêndice D.

Para utilização do software foi necessário a instalação de dois *softwares*: Master e Engine. O Master representa a interface de interação com o usuário de onde é possível iniciar e detalhar o projeto importando dados como fotos, vídeos e *lasers scans*, para posterior aerotriangulação e produção do modelo. Esses dois últimos passos requerem que o Engine esteja aberto pois ele funciona como o *Hardware lock*, se ele não estiver aberto o processo não se inicia.

Adicionalmente, o ContextCapture pode ler metadados salvos nos arquivos como: comprimento focal, tamanho do sensor, coordenadas de GPS e o nome da câmera. Caso essas informações não estejam nos arquivos, também é possível entrar através da interface do software.

Após o fim do passo a passo descrito no Apêndice D o resultado gerado será um *Mesh 3D* no formato .cms, dentro do software *Bentley ContextCapture*.

3.2.3.3 Geração de Ortoimagens

Após o registro 3D (junção das imagens em estrutura tridimensional) e o registro das cenas, todos os resultados dos dados adquiridos já estavam processados e

digitalizados tridimensionalmente.

A etapa subsequente foi a produção das ortoimagens em que algoritmos computacionais transformam as coordenadas espaciais (X, Y, Z) das reconstruções em coordenadas de espaço-imagem (X,Y), a partir de equações de colinearidade. Para tal, utilizou-se o software Bentley ContextCapture Editor. Os formatos de arquivo importados foram .cms para todos os dados.

Para tal, escolheu-se dentre os dados gerados na etapa anterior uma digitalização tridimensional representante de cada equipamento e que possuísse a melhor reconstituição geométrica, apresentando menos falhas e dados mais consistentes.

Os dados bidimensionais constituem uma parte essencial para a documentação completa do edifício, permitindo futuras análises. Por meio das ortoimagens, já é possível extração de dados para análise de danos nas fachadas, podendo mensurar comprimentos de áreas danificadas, por exemplo, além disso elas podem ser utilizadas para documentar algumas áreas danificadas mais significativas.

Como uma única ortoimagem não é capaz de representar todos os detalhes da fachada, foram definidos dois planos para geração dos dados bidimensionais, minimizando assim a omissão de informações.

Os dois planos estão expostos na Figura 25, eles foram divididos em plano paralelo a fachada e plano paralelos à face do brise.

Figura 25 – Definição dos dois planos em que serão geradas ortoimagens. Plano 1: Parede plana, Plano 2: face do brise.



Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

3.2.4 Análise de dados

A etapa de análise de dados representou a tentativa de extração de dados quantitativos, conforme indicado no primeiro capítulo desse trabalho.

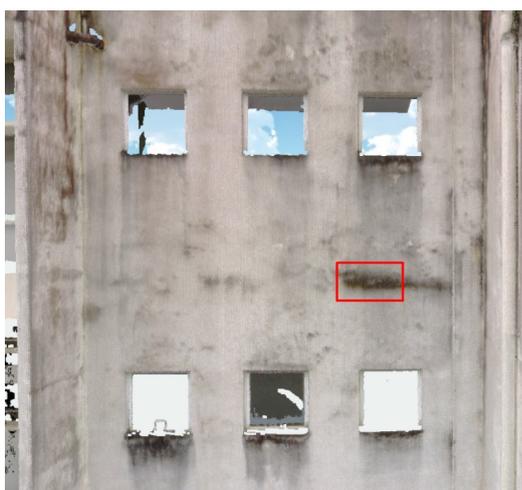
Para isso, realizou-se o processamento das ortoimagens por técnica de identificação de pixel onde uma imagem digital é discretizada espacialmente (ou seja em x e y) e em luminância (níveis de cinza). A segmentação gerou um processo de binarização que consiste em separar uma imagem em regiões de interesse e não interesse através da escolha de pontos de corte, conforme esclarecido no Capítulo 2.2.3.

No caso em estudo, os pontos de corte envolveram um intervalo de luminância (níveis de cinza) onde esse intervalo foi considerado como uma possível patologia. Assim, todos os pixels dentro do intervalo fizeram parte da região de interesse e os fora dele, são os de não interesse, conseqüentemente considerados não patologia.

Isto posto, o primeiro passo foi a identificação de qual seria o intervalo de valores dentro da escala de cinza que seriam utilizados para o processo de classificação, ou seja, os que seriam considerados manchas, e assim, possíveis patologias.

Uma pequena região de uma das ortoimagens foi analisada por um algoritmo capaz de gerar histogramas representando quais as cores dos *pixels* presentes no objeto de estudo. A imagem 26 indica a região de onde foi removido o recorte, já a Figura 27 apresenta a imagem inserida no algoritmo para a criação dos histogramas de cor. Neste caso, os dados são referentes aos dados recolhidos para o *laser scanner*, porém, o procedimento foi repetido para todos os equipamentos.

Figura 26 – Região da extração de amostra.



Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

O segundo passo foi utilizar as cores do histogramas para analisar as ortoimagens geradas da região de estudo, correlacionadas a todos os equipamentos estuda-

Figura 27 – Recorte da Patologia.



Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

dos. Assim, os intervalos de interesses que foram definidos no primeiro passo foram aplicados a todos os pixels das ortoimagens e eles foram comparados uns aos outros. Caso o pixel estivesse dentro do intervalo definido sua cor foi alterada para vermelho.

A segmentação das ortoimagens e identificação dos *pixels* foi realizada pela linguagem de programação Python, versão 3.7 e Ambiente Integrado de Desenvolvimento ou *Integrated Development Environment* (IDE) *PyCharm* desenvolvido pela empresa *Jetbrains* (JETBRAINS, 2019).

A extração dos *pixels* presentes na região identificada como patologia foi realizada com auxílio das bibliotecas *Matplotlib* e *Skimage* e o algoritmo desenvolvido encontra-se no Apêndice E.1. Já o algoritmo capaz de encontrar nas ortoimagens os *pixels* previamente definidos é apresentado no apêndice E.2 e contou com o uso das bibliotecas *PIL*, *Matplotlib*, *Numpy* e *Skimage*.

Como o algoritmo identifica o estado de conservação por cores, as esquadrias e regiões não pertencentes a edificação precisaram ser previamente removidas no aplicativo Bentley ContextCapture Editor, garantindo assim que os elementos classificados obtivessem resultados mais fidedignos a realidade.

Por fim, com os pixels classificados dentro de suas categorias, extraiu-se a porcentagem de pixels considerados possível patologia em detrimento a quantidade total de pixels na imagem.

4 RESULTADOS

4.1 LEVANTAMENTO EM CAMPO

4.1.1 **Elaboração e aplicação de entrevistas com profissionais da área.**

As entrevistas tiveram um papel significativo no estudo pois auxiliaram na compreensão do fluxo tradicional de inspeção de edifícios, trazendo uma noção prática tanto do trabalho dos profissionais como sua mentalidade, fortalecendo a compreensão entre a distância do estudo acadêmico perante o existente nas empresas que prestam tal serviço e o entendimento de quais técnicas de inspeção são realmente utilizadas atualmente.

Dentre os três entrevistados, um deles possuía mais de 30 anos no ramo de inspeção e recuperação predial e seu conhecimento é advindo de experiências práticas, posto que ele não possui formação acadêmica. Todos os trabalhos realizados por ele e sua equipe são compostos por inspeções visuais e em alguns casos, como na verificação do revestimento cerâmico, um colaborador percorre a fachada com um balancinho, batendo nos componentes e verificando sua sanidade. Segundo o entrevistado, em 90% dos casos o levantamento de informações, assim como de quantitativos para reforma, atinge bons resultados apenas com a inspeção visual e ele acredita que novas tecnologias não são necessárias para alcançar bons resultados na captura dos dados.

O segundo entrevistado se tratava de um engenheiro; ele esclareceu que os maiores desafios nem sempre estão relacionados a edificações complexas e altas, prédios de menor porte podem apresentar grandes problemas a serem superados. Com relação a extração de quantitativos para reforma, há duas opções: a primeira delas é a contratação de um laudo previamente à contratação da equipe de reforma. De acordo com o entrevistado, existem engenheiros que elaboram laudos que têm usado tecnologias como RPAs para auxiliar na inspeção. A segunda é a mais comum, quando os próprios executadores do serviço estimam a quantidade de material por meio de fotografias e inspeções visuais, aliados a análises junto ao banco de dados da empresa. Tal entrevistado entende que o processo de restauração e manutenção é antiquado e que, apesar de ele não conhecer as tecnologias que podem auxiliar, os problemas são sempre os mesmos, o que evoluiu foram os produtos. Além disso, o entrevistado abordou a questão das manutenções, em que a falta de manutenção preventiva torna a manutenção corretiva muito mais cara.

Já o terceiro entrevistado segue exatamente o perfil citado pelo segundo, um engenheiro que elabora laudos e usa equipamentos como RPAs para auxiliar na extração de dados de fachadas. Os RPAs são utilizados como ferramenta de aproximação do inspetor às patologias, onde imagens são recolhidas dos locais em que o operador

do equipamento detecta possíveis problemas. Ele afirma que câmeras com termosensores são capazes de detectar os locais com descolamento de pastilhas. Porém, a extração de quantitativos é realizada como nos casos anteriores, através de inspeção visual e de análise das fotografias.

Os três entrevistados possuem perfis e conhecimentos distintos porém todos utilizam estratégias de extração de quantitativos semelhantes, inspeção visual e análise de fotos. Fica claro que mesmo tendo em mãos um maior número de equipamentos e tecnologias não necessariamente isso trará insumos melhores.

O entrevistado que utiliza equipamentos como RPA pode ter acesso a áreas inacessíveis por humanos nas edificações, fazendo com que sua análise se torne mais precisa, porém se a edificação não for muito alta ou complexa seus resultados podem se assemelhar aos demais casos.

4.1.2 Experimentos Piloto

Os testes introdutórios permitiram investigações rápidas e simples, preliminarmente à recolha de dados oficiais. Com eles é possível entender se as estratégias investigadas trarão resultados satisfatórios.

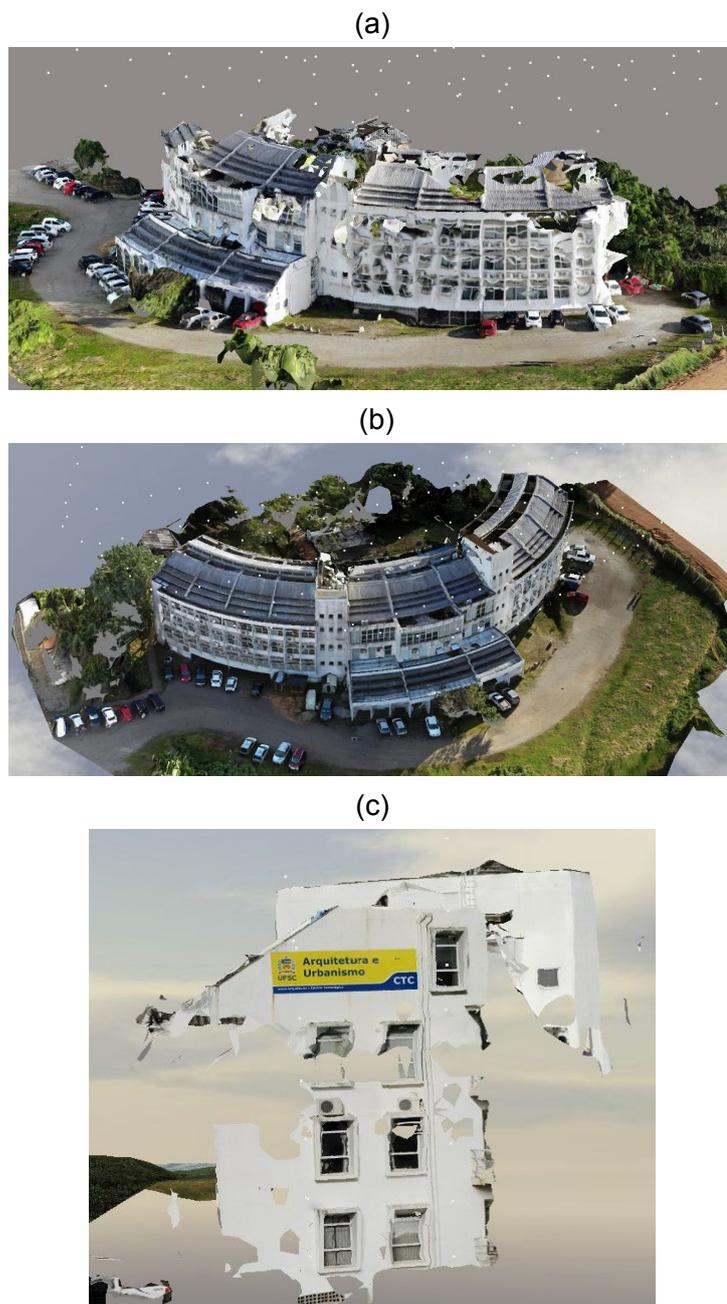
A primeira captura de dados ocorreu então no dia 16 de maio de 2019. O objetivo inicial era verificar se as imagens recolhidas com os planos de voos automáticos realizados por aplicativos, como Pix4D e Dronedeploy, eram capazes de fornecer informações claras das fachadas.

A Figura 28 apresenta tais resultados. A Figura 28a refere-se ao resultado do processamento das imagens, no *software* ContextCapture, recolhidas no formato de voo estrutura, composto por imagens realizadas em um *grid* duplo somadas a imagens oblíquas do perímetro.

Já a Figura 28b compreende o caso somente com o *grid* duplo. Para o terceiro experimento, as imagens paralelas a uma das fachadas foram processadas no *software* ContextCapture e a reconstrução ocorreu de acordo com o presente na Figura 28c.

Nos três resultados apresentados houve algumas falhas, causando regiões vazias. Segundo o engenheiro da empresa VeM Associados o problema foi decorrente de interferências no dia do voo, que bloquearam e dificultaram a recepção dos sinais do GPS e GLONASS, ocasionando registro fragmentado ou com multi caminhamento em algumas fotografias que quando adicionadas ao *software* para processamento não foram identificadas e não puderam ser incorporadas na reconstrução ou foram posicionadas em locais inadequados.

Figura 28 – Reconstrução de fachada com imagens paralelas ao plano.

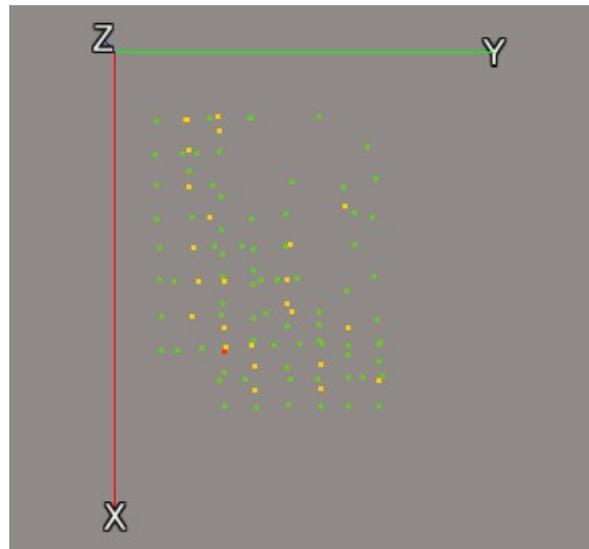


Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

A Figura 29 mostra o posicionamento das fotografias no processo de aerotriangulação, a primeira etapa da reconstrução. Os pontos laranjas indicam as fotografias com algum problema na sua localização e o vermelho fotografias não processadas.

Técnicas diferentes de processamento de imagem foram testadas para que os dados pudessem ser reconstruídos totalmente mas as tentativas não obtiveram êxito.

Figura 29 – Erro encontrado na tentativa de triangularizar as imagens.



Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

O voo realizado no dia 25 de julho de 2019 buscou superar os problemas na reconstrução dos casos anteriores. Nesse dia, os dados foram coletados no modo estrutura e o resultado após processamento das imagens estão na Figura 30.

Figura 30 – Resultado do voo do dia 25 de julho. Voo estrutura.



Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

Nesse novo dia de testes a reconstrução ocorreu sem falhas. As imagens oblíquas do voo estrutura ajudaram a definição mais detalhada das fachadas, porém não foi o suficiente para que pudesse ser compreendido com clareza o limiar entre as regiões escuras e a parede branca. O teste com a ausência das imagens oblíquas confirmou que sem elas o resultado fica ainda menos satisfatório. Caso o objetivo

fosse ter noções básicas sobre como estão dispostas as informações nas fachadas o primeiro método pode ser válido.

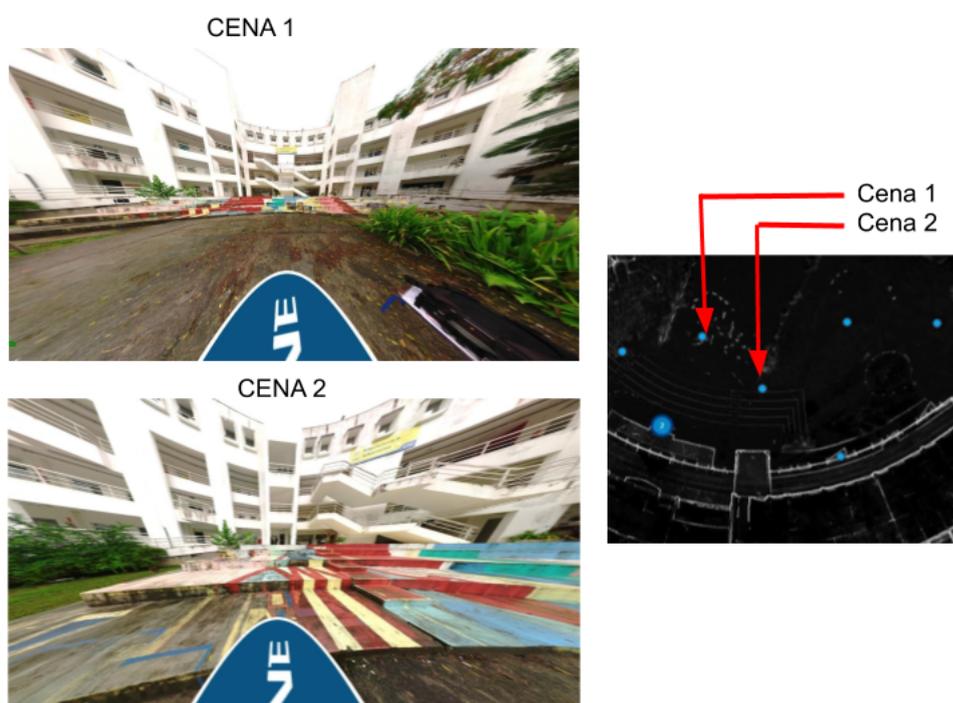
Os voos não foram o suficiente para atingir dados que pudessem ser utilizados nesse trabalho. Porém, auxiliaram na verificação de todo o perímetro do edifício e na escolha de qual seria a região mais adequada para focar o estudo, buscando encontrar a área com o maior número de características representativas da fachada, conforme descrito no capítulo 3.2.2.4. Assim, como ajudaram a definição das estratégias utilizadas no trabalho, juntamente com a revisão bibliográfica.

4.1.3 Aquisição dos dados com *Laser Scanner*

A realização correta da etapa de aquisição dos dados é uma das partes mais importantes para a estratégia de inspeção predial, sendo capaz de propagar erros por todo o processo, caso realizada incorretamente.

A Figura 31 apresenta o local em que as cenas 1 e 2 foram recolhidas.

Figura 31 – Posicionamento e amostra das cenas 1 e 2.



Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

O fato de o procedimento ter sido realizado por um membro da empresa fabricante do equipamento e experiente no manuseio garantiu que as informações recolhidas fossem confiáveis. Além disso, a confirmação se deu por informações geradas no *software* FARO SCENE, no relatório de registro das cenas. Ele apresenta as ca-

racterísticas dos dados adquiridos no levantamento, ou seja, as características das cenas.

A média de erro de ponto entre duas cenas consecutivas foi 1,59 mm e a sobreposição alcançada foi inferior a 30% em apenas dois casos, conforme apresentado na Figura 32.

Figura 32 – Erros estatísticos de varredura.

Cluster/Varredura 1	Cluster/Varredura 2	Erro de ponto (mm)	Sobreposição
Cena 1	Cena 2	1	71,20%
Cena 2	Cena 3	1,2	65,90%
Cena 3	Cena 4	0,9	73,70%
Cena 4	Cena 5	1,6	68,60%
Cena 5	Cena 6	2,3	29,50%
Cena 6	Cena 7	1,9	63,10%
Cena 7	Cena 8	2,2	54,00%
Cena 8	Cena 9	1,7	71,60%
Cena 9	Cena 10	1,4	55,70%
Cena 10	Cena 11	1,5	45,50%
Cena 11	Cena 12	1,6	37,00%
Cena 12	Cena 13	1,7	61,30%
Cena 13	Cena 14	2,4	51,60%
Cena 14	Cena 15	1,4	67,50%
Cena 15	Cena 16	2,1	64,70%
Cena 16	Cena 17	1	34,20%
Cena 17	Cena 18	1	58,10%
Cena 18	Cena 19	3,9	32,70%
Cena 19	Cena 20	1,6	42,50%
Cena 20	Cena 21	2,8	21,20%
Cena 21	Cena 22	1,1	48,00%
Cena 22	Cena 23	1,1	58,50%
Cena 23	Cena 24	1,6	51,10%
Cena 24	Cena 25	1,1	48,20%
Cena 25	Cena 26	1,7	69,40%
Cena 26	Cena 27	0,8	68,90%
Cena 27	Cena 28	1	62,90%
Cena 28	Cena 29	1,4	42,80%
Cena 29	Cena 30	1,8	43,30%
Cena 30	Cena 1	0,9	46,50%
Média de erro dos pontos		1,59	

Fonte: Adaptado de FARO SCENE, 2019.

Como já descrito anteriormente, com a sobreposição superior a 30% os elementos podem ser reconstruídos sem grandes problemas e a junção das cenas não passa por empecilhos de não reconhecimento de pontos comuns. Além disso, o erro médio entre os pontos de 1,59mm e máximo de aproximadamente 4mm representam um valor extremamente pequeno para a construção civil. Trabalhos realizados manualmente com o uso de trenas e ferramentas de medidas são capazes de atingir erros de centímetros.

Assim, tais valores são satisfatórios e indicam que a sobreposição e erro de pontos não serão os responsáveis caso ocorra ou apareça algum erro nas etapas seguintes.

4.1.4 Aquisição dos dados com RPA

Para os RPAs, a aquisição correta de dados é igualmente importante quanto ao *Laser Scanner* e denota os mesmos riscos de inconsistência de informação, caso as fotografias não sejam recolhidas corretamente.

A definição do posicionamento da câmera e as equações apresentadas no capítulo 3.2.2.6 buscam minimizar a chance de erro. A Tabela 6 apresenta o cálculo do número R e da quantidade de fotos necessária para cada tipologia de equipamento.

Tabela 6 – Cálculo número de fotos necessárias.

Equipamento	R	Zx	Zy	Aunica (m)	Num fotos
DJI Mavic Air	0,25	7,46	5,51	1,64	75
DJI 200 Matrice	0,25	6,63	5,35	1,42	87

Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

Com o valor de R entre 0,1 e 0,5 para ambos os casos, é garantida a precisão geométrica e a baixa variação no tamanhos dos pixels, conforme proposto por Melo *et al.* (2018 apud BRITO; N. J. GROETELAARS; A. L. DE AMORIM, 2012). Apesar de o número R ser igual para os equipamentos, a quantidade de fotos é distinta, devido as características das câmeras, resultando em 75 fotos para o DJI Mavic Air e 87 fotos para o DJI Matrice 200.

A Figura 33 apresenta fotos adquiridas com o equipamento DJI Mavic Air e a Figura 34 refere-se as fotografias com DJI Matrice 200.

A diferença de cor entre as duas figuras é claramente visível e o principal motivador disso é a luminosidade natural incidindo sobre as fachadas nos dias de aquisição das imagens. Tendo posse somente das fotografias individuais, sem o processamento, não há como afirmar os reais impactos que a ação do sol provocaram sobre os dados.

4.2 PROCESSAMENTO E DIGITALIZAÇÃO

4.2.1 Processamento e digitalização das cenas para *Laser Scanner*

A etapa de processamento e digitalização foi a responsável pela reconstrução tridimensional do edifício, através da união das cenas e posicionamento dos pontos. Todo o procedimento foi realizado de acordo com o definido no método desse trabalho.

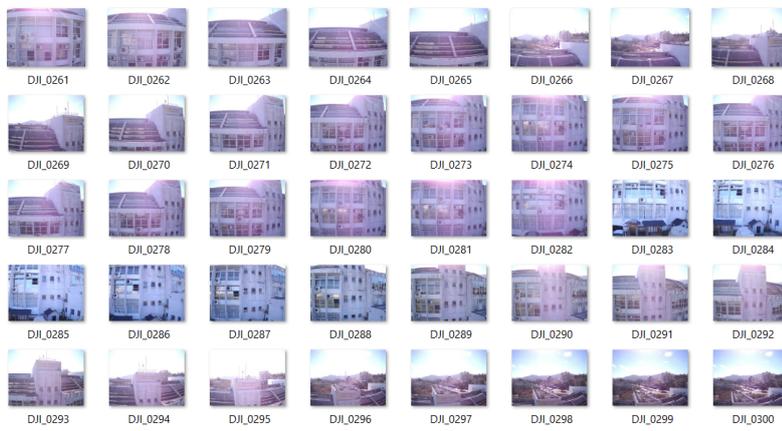
Como já apresentado, os dados foram adquiridos não apenas para a região de estudo, mas sim para toda a edificação. Então, após a reconstrução, a nuvem de pontos do edifício foi recortada para que a região representativa de estudo fosse

Figura 33 – Imagens adquiridas com DJI Mavic Air.



Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

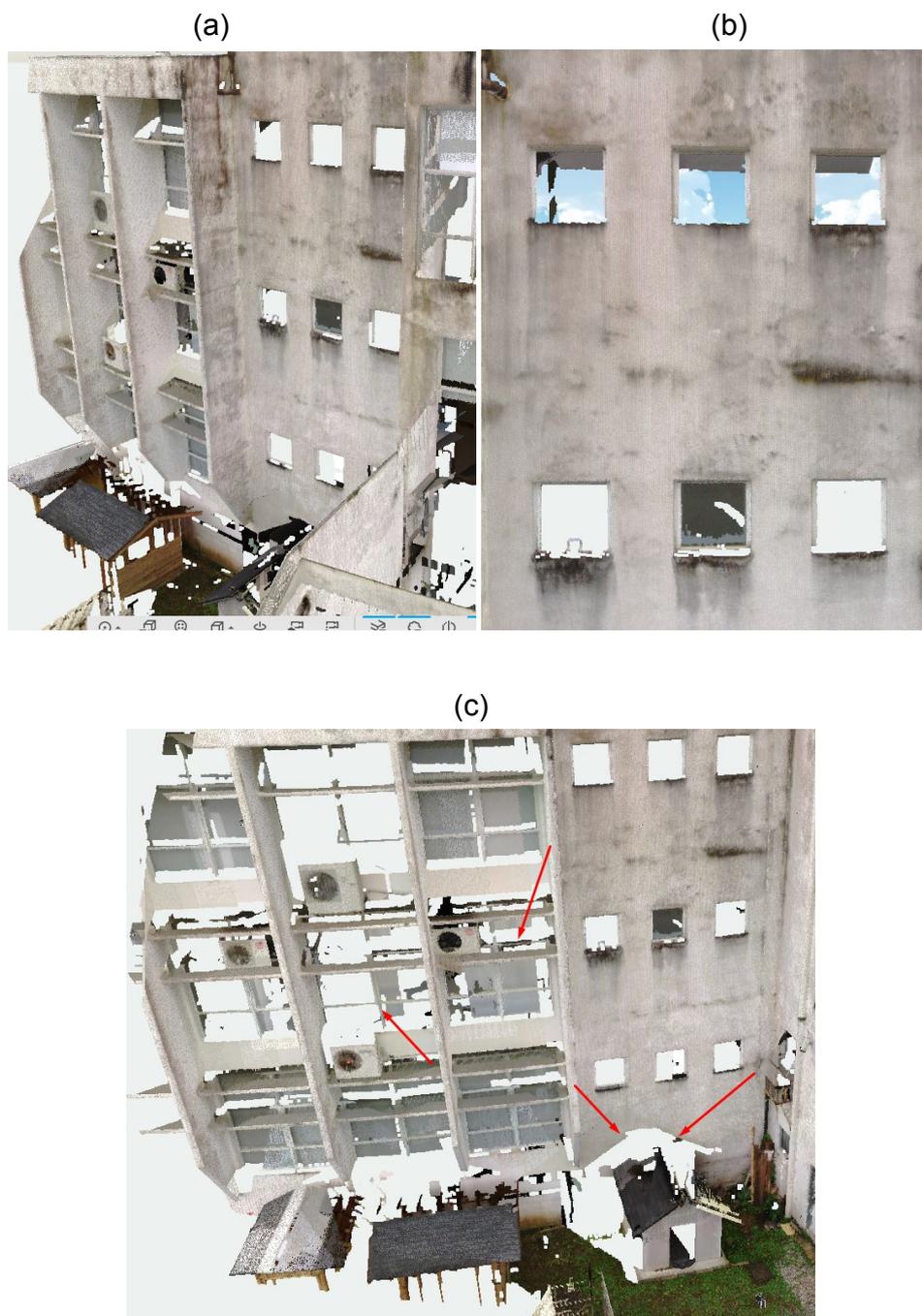
Figura 34 – Imagens adquiridas com DJI Matrice 200.



Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

analisada separadamente. A Figura 35 apresenta o resultado final da nuvem de pontos específica da região de estudo e parte de sua vizinhança. A Figura 35a mostra uma imagem lateral da reconstrução, onde encontram-se os brises verticais e horizontais, na Figura 35b destaca-se a região plana da área de estudos e na Figura 35c encontra-se uma vista oblíqua, todas elas retiradas do software FARO SCENE após o fim do processamento dos dados.

Como as informações foram recolhidas do solo, objetos que possuíam saliências acabaram causando regiões sem dados próximos a eles, como os destacados na Figura 35c. A maior parte das esquadrias não foi capturada, devido a refletância do vidro, já com relação aos brises, eles foram reconstruídos sem a presença de falhas.

Figura 35 – Resultado dos dados recolhidos com *Laser Scanner*.

Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

As regiões sem informações presentes no levantamento já eram esperadas, uma vez que o equipamento não é capaz de transpor objetos. A sobreposição lateral minimiza o tamanho dessas regiões por ser capaz de capturar os objetos em posições distintas e ser alocado em locais que diminuem as partes ocultas. Porém, para obter

a reconstrução total e sem falhas seria necessário sobreposição vertical através da instalação de plataformas em cotas mais altas ou acoplamento do *Laser Scanner* a um RPA.

4.2.2 Processamento e digitalização das imagens para RPA

Para gerar a reconstrução tridimensional, o processamento das imagens necessita seguir corretamente o passo a passo definido no método desse trabalho, para garantir que a triangularização e o *Mesh* 3D sejam alcançados sem falhas.

Nos tópicos a seguir foram subdivididas em duas etapas o processamento dos dados, a primeira delas referente ao resultado das imagens paralelas às fachadas e a segunda relacionada a inserção das imagens oblíquas junto às primeiras.

4.2.2.1 Etapa 1: Processamento das imagens paralelas à fachada

O primeiro processamento de imagens foi referente às fotografias paralelas ao plano da fachada, com o uso do equipamento DJI Mavic Air. Como descrito no método, foram recolhidas imagens tanto da região de estudo como perimetrais a ela para garantir assim a sobreposição.

As imagens passaram pelo processo de aerotriangulação e posteriormente produção do conjunto tridimensional, gerando o resultado final no software Bentley ContextCapture conforme exposto na Figura 36a. No caso da Figura 36b observa-se a parte plana da região de estudo, já a Figura 36c verifica-se a reconstrução dos brises horizontais, verticais e a região curva da fachada.

A Figura 36b deixa claro o nível de detalhamento alcançado na reconstrução e a resolução em que podem ser observadas as patologias, facilitando a visualização do estado de conservação.

A região plana da edificação pode ser reconstruída sem nenhum problema, analisando visualmente o resultado encontrado, não encontram-se deformações e ausência de componentes nessa faixa. Porém, os brises verticais foram os que sofreram maiores deformações e inconsistência geométrica. Esse resultado é coerente pois tais elementos não foram capturados em pelo menos duas posições distintas, conforme apresentado em literatura. As fotografias, por serem paralelas à fachada não foram capazes de garantir o princípio de sobreposição e paralelismo para essas saliências.

Com relação ao equipamento DJI Matrice 200, a Figura 37a evidencia o resultado do processamento paralelo ao plano no *software* Bentley ContextCapture. A Figura 37b detalha a área plana da região de estudo e a Figura 37c enfatiza a reconstrução das regiões curvas e dos brises.

É evidente a diferença de cor quando comparado aos demais equipamentos, isso se deve a presença de alta luminosidade solar no dia da coleta de dados. Conforme destacado na revisão literária desse trabalho, dias com muito sol não são in-

Figura 36 – Resultado de imagens paralelas com DJI Mavic Air.

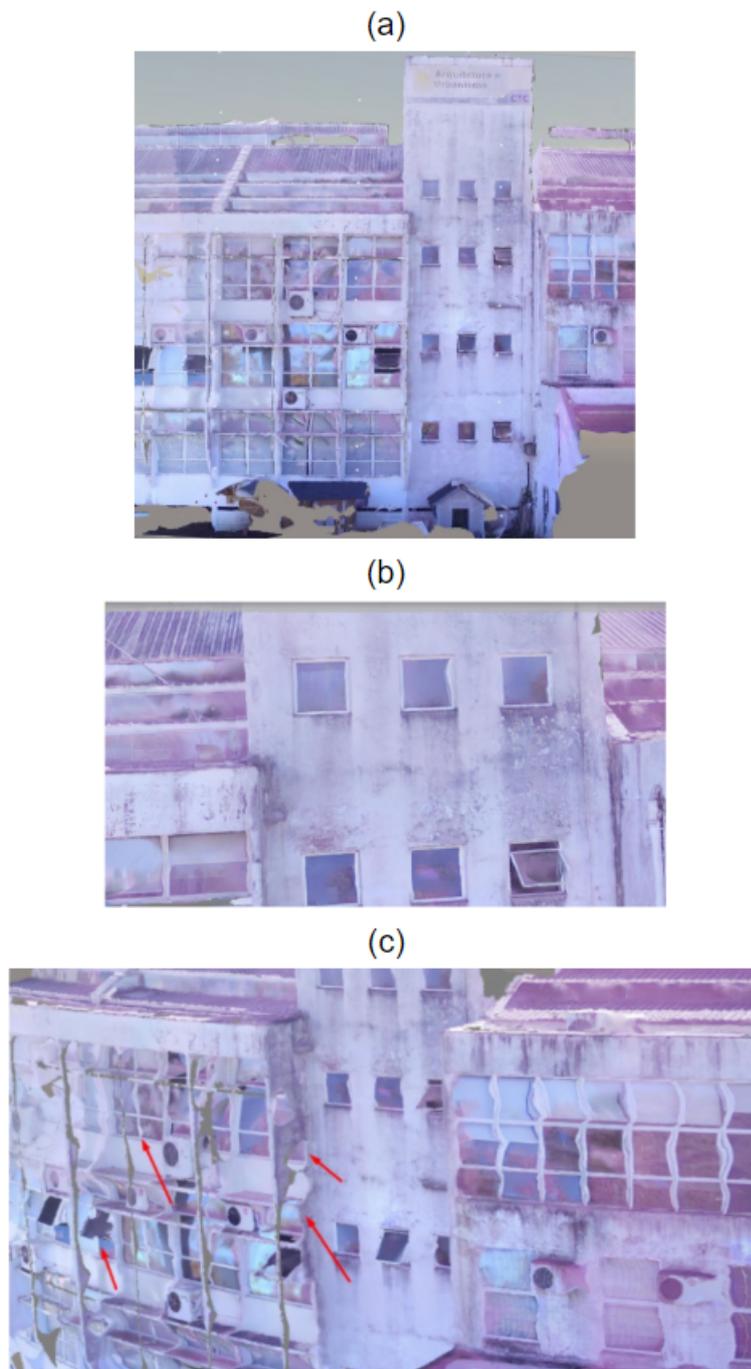


Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

dicados e o resultado deixa claro o porquê. Mesmo a câmera possuindo sensores considerados superiores, a condição do ambiente de extração dos dados causou um impacto significativo, gerando resultados menos fidedignos a realidade.

Apesar da luminosidade a precisão do levantamento foi semelhante aos demais equipamentos (Figura 37). Com relação as deformações geométricas, elas seguiram a linha do encontrado para o RPA DJI Mavic Air, destacando-se os problemas nas esquadrias e brises.

Figura 37 – Resultado de imagens paralelas com DJI Matrice 200.



Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

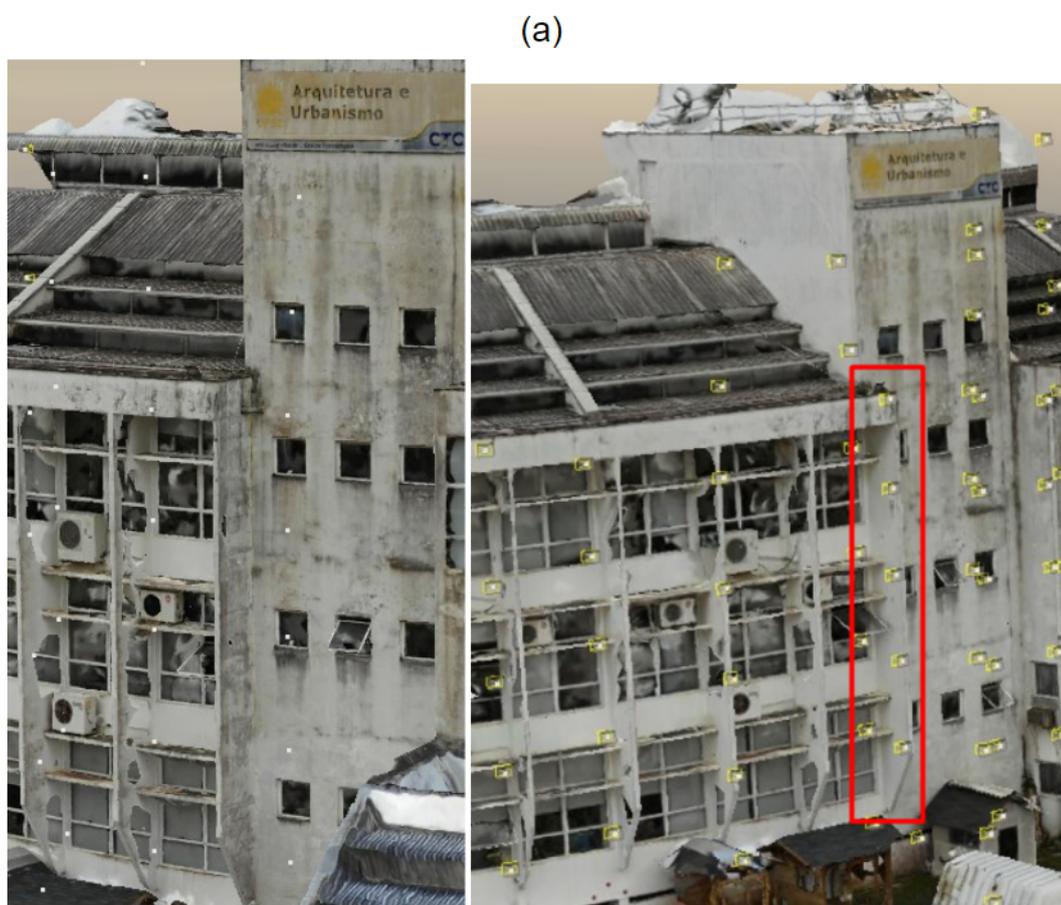
4.2.2.2 Etapa 2: Processamento com adição de imagens oblíquas

Depois do processamento dos dados referentes aos voos paralelos, as imagens oblíquas altas recolhidas em campo foram anexadas as anteriores para que fosse possível entender a diferença que essas imagens trariam na reconstrução, principalmente

dos brises verticais. Como já descrito na revisão bibliográfica do presente trabalho, imagens oblíquas altas referem-se as que incluem o horizonte, ou seja, estão mais distantes do objeto.

Com relação ao equipamento DJI Mavic Air, foram inseridas seis fotos, oblíquas e próximas a região de estudo, gerando a reconstrução da Figura 38. Já para o equipamento DJI Matrice 200 foram adicionadas oito novas fotos e a reconstrução encontra-se na Figura 39.

Figura 38 – Resultado de imagens oblíquas com DJI Mavic Air.



Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

Em ambos os casos, as reconstruções foram mais detalhadas do que quando comparadas as geradas pelas imagens somente paralelas a fachada devido a redução nas falhas geométricas dos brises. As imagens oblíquas auxiliaram para que os elementos fossem capturados pelo menos duas vezes e em duas posições distintas.

No caso do brise referente ao equipamento DJI Matrice 200 a reconstrução foi mais falha do que as demais (maiores detalhes na Figura 40c). As lacunas foram ocasionadas por problemas no processamento de parte das imagens oblíquas. Quando as figuras foram importadas para o *software* Bentley ContextCapture o processo de

Figura 39 – Resultado de imagens oblíquas com DJI Matrice 200.



Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

aerotriangularização não pode ser completado para todas as imagens, gerando erros e impedindo que estas fossem anexadas a reconstrução. Formas distintas de processamento e diferentes configurações foram testadas no *software*, porém sem êxito.

As falhas presentes em ambos os casos poderiam ser sanadas conforme descrito no capítulo 2.2.2., citando Verykokou e Ioannidis (2018), onde captura de imagem oblíquas baixas, centradas no objeto, poderiam registrar mais detalhes e pontos do elemento, reduzindo a probabilidade de erros e falhas. Tais imagens não foram recolhidas devido a restrição de disponibilidade do uso dos equipamentos.

Cabe ressaltar que os brises vizinhos ao apontado nas figuras não obtiveram bons resultados de sobreposição, isso se deve ao fato de as imagens oblíquas recolhidas focarem na região de estudo e a sobreposição atingida foi o suficiente para encontrar bons resultados apenas para a área delimitada.

4.2.3 Geração de Ortoimagens

A aquisição das ortoimagens representam uma etapa de transição, uma vez que os dados recolhidos passaram por um processo até o momento para que se tornassem reconstruções tridimensionais e a partir dessa etapa irão ocupar espaços bidimensionais.

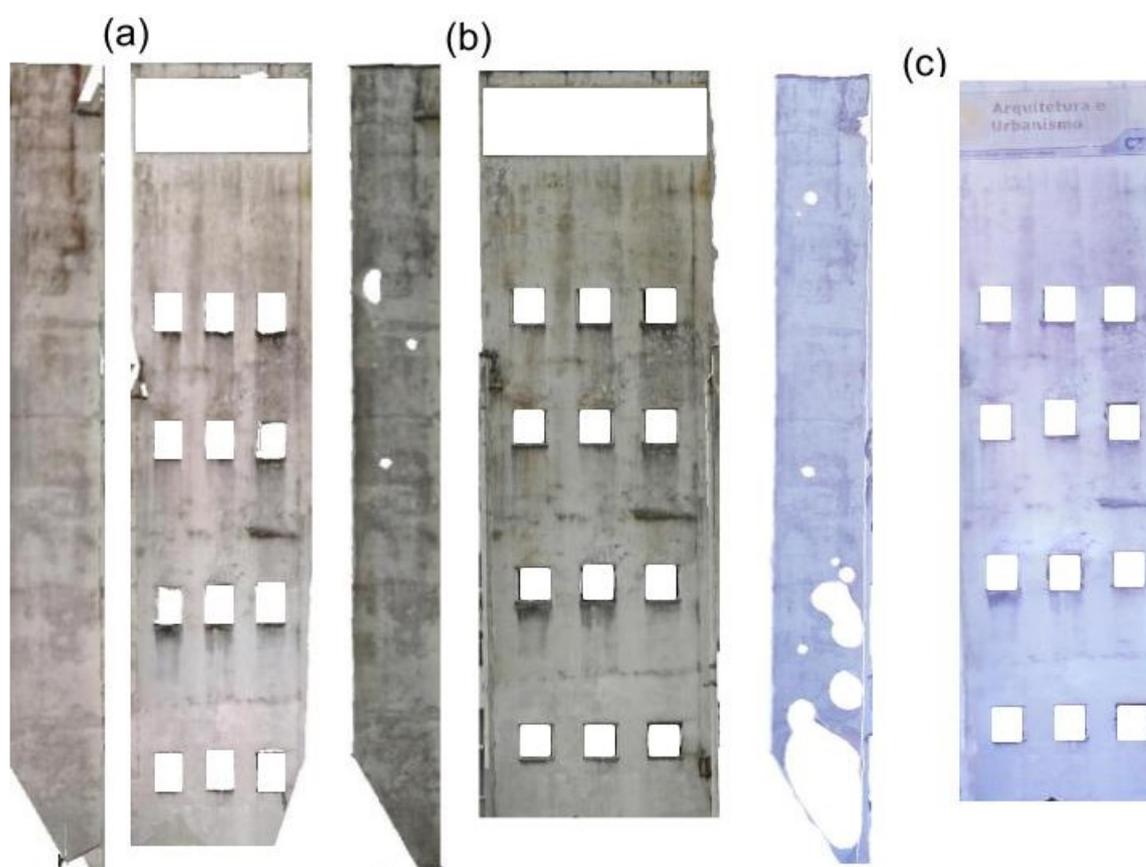
A opção por tornar as reconstruções em ortoimagens é justificada devido a próxima etapa, a segmentação, pois o algoritmo desenvolvido não é capaz de interpretar informações tridimensionais.

Como já descrito na metodologia, para cada um dos equipamentos, foi selecionada a melhor reconstrução gerada, principalmente para os RPAs, visto que os pontos recolhidos pelo *laser scanner* passaram por apenas um processo de reconstrução.

Depois disso, cada um deles foi inserido no *software* Bentley ContextCapture Editor, que além de gerar os arquivos na extensão de ortoimagens, permitiu o recorte das esquadrias e regiões indesejadas, como obstáculos em frente a fachada e áreas fora da região delimitada como estudo.

As ortoimagens geradas e recortadas estão representadas na Figura 40, cada equipamento possuiu o registro de duas ortoimagens, uma paralela a parede plana e a outra paralela a um dos planos do brise, perpendicular a fachada. A Figura 40a diz respeito a ortoimagem dos dados capturados pelo *laser scanner*, a Figura 40b refere-se ao RPA DJI Matrice Air e a Figura 40c ao RPA DJI Matrice 200.

Figura 40 – Ortoimagens geradas para os três equipamentos.



Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

O processo de extração de esquadrias e elementos desnecessários para a análise foi relativamente rápido, porém manual. Caso a região de estudo não fosse delimitada e toda edificação fosse processada no algoritmo, o trabalho de remoção seria moroso e dependeria muito mais tempo e esforço. Uma alternativa para tal seria

desenvolver um processo automatizado para extração de informações desnecessárias envolvendo métodos de aprendizado de máquinas ou visão computacional, estando fora do escopo da pesquisa.

Assim, as ortoimagens foram capazes de ser geradas com quase nenhuma falha para o *Laser Scanner*, pequenas falhas para o caso do DJI Mavic Air e falhas mais expressivas no caso do brise correlacionado ao DJI Matrice 200. As causas das inconsistências já foram citadas nos resultados anteriores e podem ser evitadas para trabalhos futuros.

Com relação as cores, analisadas visualmente, claramente os dados capturados pelo DJI Mavic Air (Figura 40b) são os mais escuros e os referentes ao DJI Matrice 200 (Figura 40c) são os mais claros.

A distinção entre as cores das ortoimagens deixa claro o porquê de a etapa a seguir de definição dos pixels da mancha ser realizada para todos os casos e não ser definido um único valor padrão. Pela diferença de tonalidade dos dados, o que seria considerado mancha no caso do DJI Matrice 200 pode não ser para o DJI Mavic Air.

4.3 ANÁLISE DE DADOS

A análise de dados transformou os dados coletados e trabalhados em um conjunto de informações que pudessem ser verificadas de forma racional e quantitativa.

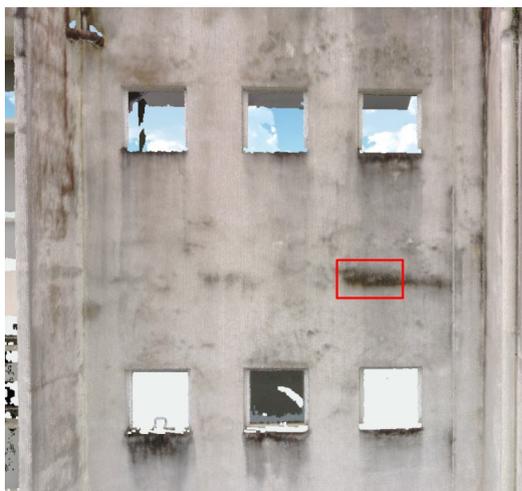
Para tal, criou-se algoritmos para que as ortoimagens previamente geradas e qualificadas como os melhores resultados fossem verificadas. Para extração dos resultados, os algoritmos envolveram processos de classificação de padrões de cores de pixels pelo uso de histogramas, capazes de representar visualmente os dados. Assim, cada resultado dentro do intervalo definido previamente no histograma, é classificado como mancha e potencial patologia.

4.3.1 Etapa 1: Definição dos Pixels da mancha

Os primeiros resultados adquiridos foram os vinculados ao passo inicial para segmentação. Eles se referem a identificação de quais são os pixels presentes em uma parcela da ortoimagem (região da Figura 41), a qual foi definida como mancha e possível patologia.

Para a identificação de quais são os pixels dessa área utilizou-se a extração de histogramas, onde todos os pixels encontrados no algoritmo tiveram sua cor RGB e luminância plotados. A utilização do histograma é valiosa para o processo pois trata-se de uma estratégia rápida e visual, capaz de auxiliar na identificação da tendência de um determinado processo.

Figura 41 – Região da extração de amostra.



Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

A Figura 42 contém os histogramas gerados através dos dados recolhidos com o *Laser Scanner*, a Figura 43 ao *RPA DJI Mavic Air*, e a Figura 44 ao *RPA DJI Matrice 200*.

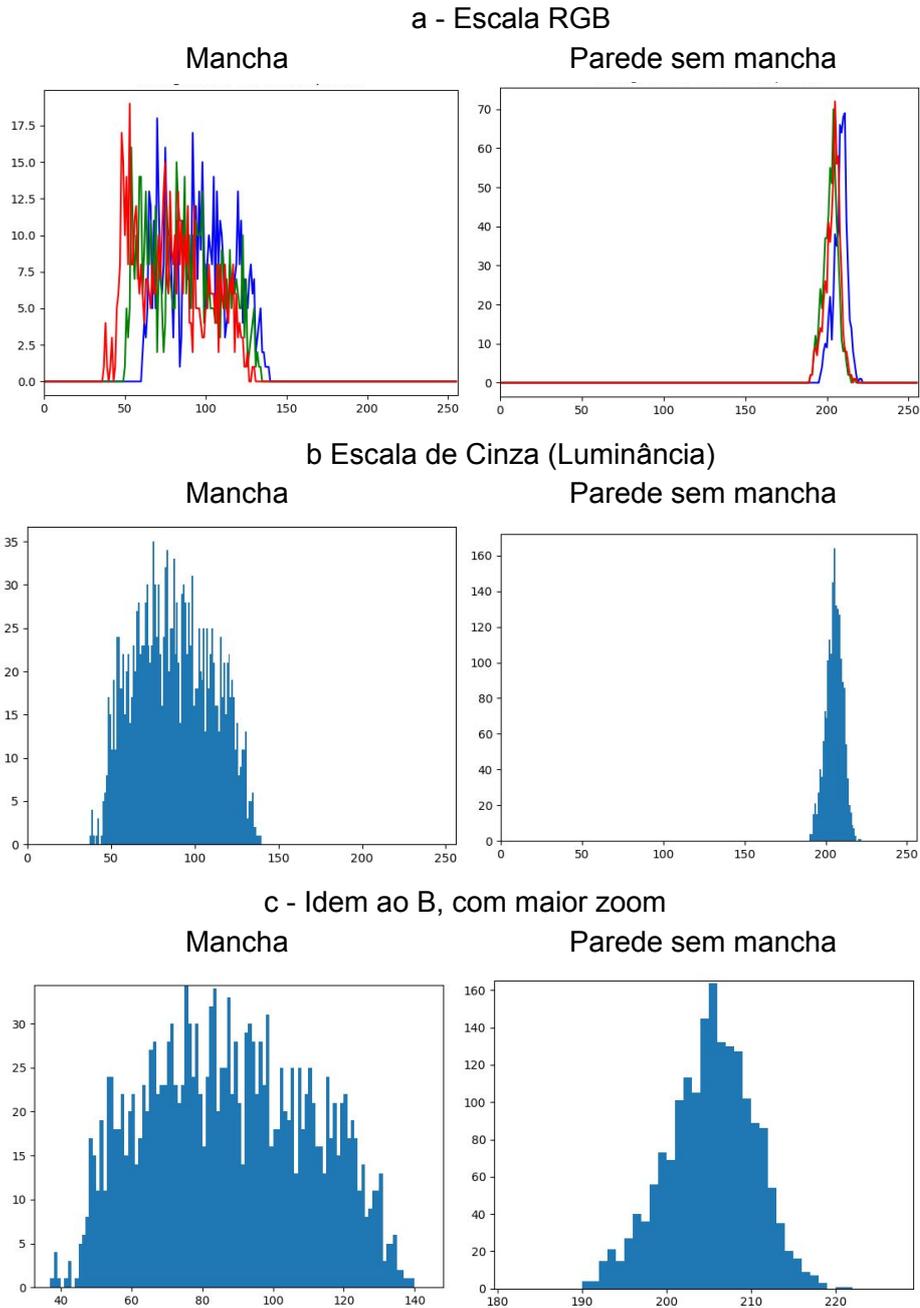
Cada uma das figuras é dividida em 3 parcelas. O primeiro histograma refere-se a escala RGB da região (Figura 42a), e as linhas coloridas são relativas a distribuição de frequência nos três espaços R, G e B (*Red, Green, Blue*), variando de 0 a 256. O segundo histograma representa o intervalo de luminância, a escala de cinza, que também varia de 0 a 256 (Figura 42b). A diferença entre o segundo e terceiro histograma é simplesmente o zoom dado na região da amostra para que fosse possível averiguar os resultados com a escala mais detalhada (Figura 42c).

No eixo das ordenadas (eixo y), os valores representam a quantidade de pixels referentes ao valor de RGB ou luminância presentes no eixo das abscissas. É notória a baixa quantidade de pixels para cada valor da escala, isso se deve ao fato de que a região delimitada como mancha para análise foi pequena.

Para facilitar a compreensão dos resultados, foram anexados, ao lado de cada um dos histogramas referentes a mancha, o histograma na mesma escala para uma região sem mancha, ou seja, considerada parede sã.

Ao comparar os histogramas das regiões com e sem mancha é evidente que os valores são distintos. Para a parede com mancha, os valores, tanto na escala RGB como o intervalo de luminância localizam-se mais próximos do zero, sendo assim mais próximo do preto. Já para o caso da parede sem mancha, majoritariamente os resultados aproximam-se do 256, valores mais claros, deixando explícita a diferença na coloração dos pixels quando há alguma modificação com relação aos valores considerados para fachada sem alteração.

Figura 42 – Histogramas para equipamento Laser Scanner.

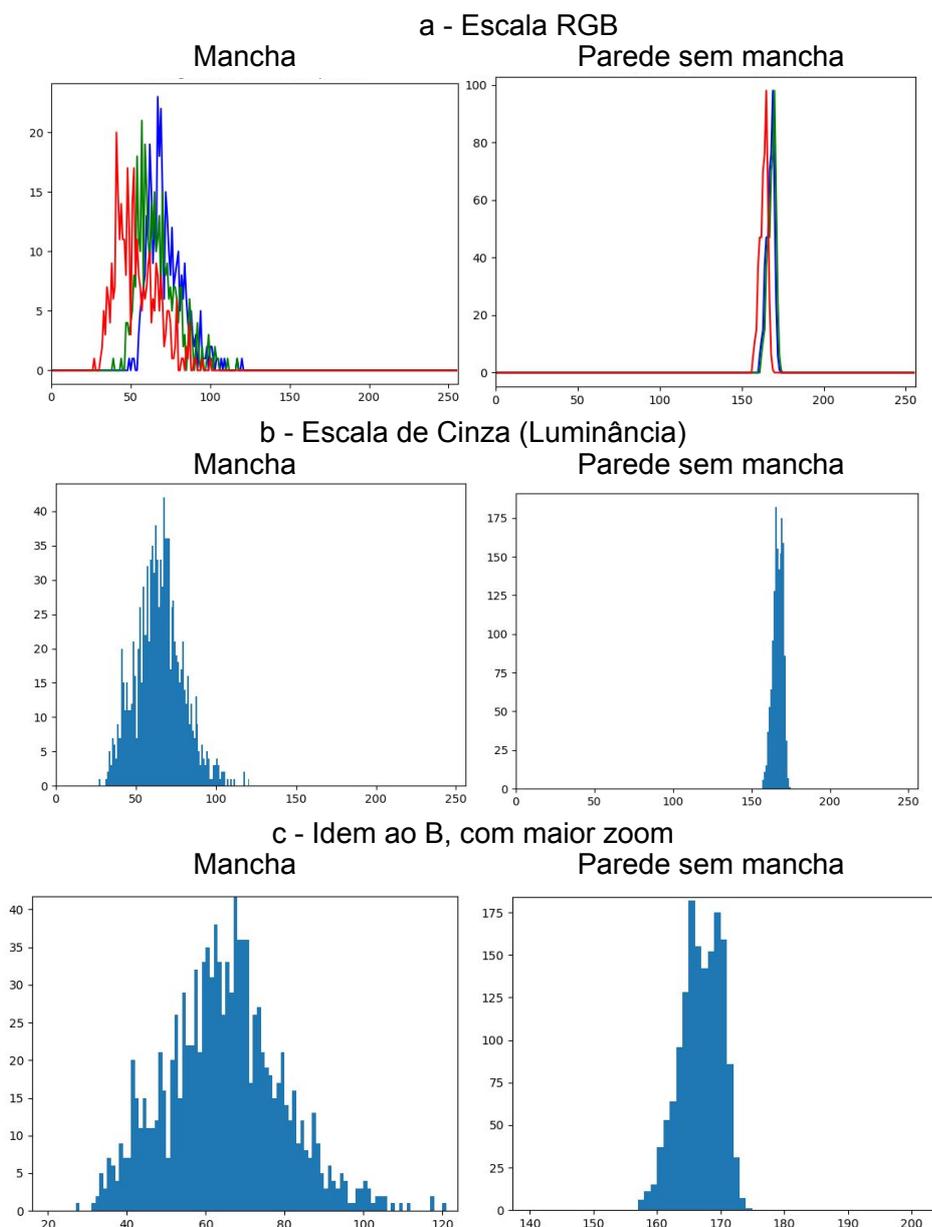


Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

O histograma relativo ao primeiro equipamento, o *Laser Scanner* (Figura 42), quando tratado na escala RGB demonstrou valores de *Red* (vermelho) tendenciando para valores menores, do que quando comparados ao *Green* e *Blue* (verde e azul). Na escala de cinza, o formato final do histograma se assemelhou muito ao anterior, da Figura 42a. Em ambos os casos, os valores variaram entre 40 e 140.

O segundo grupo de histogramas, relativos ao RPA DJI Mavic Air (Figura 43a)

Figura 43 – Histogramas para equipamento DJI Mavic Air.

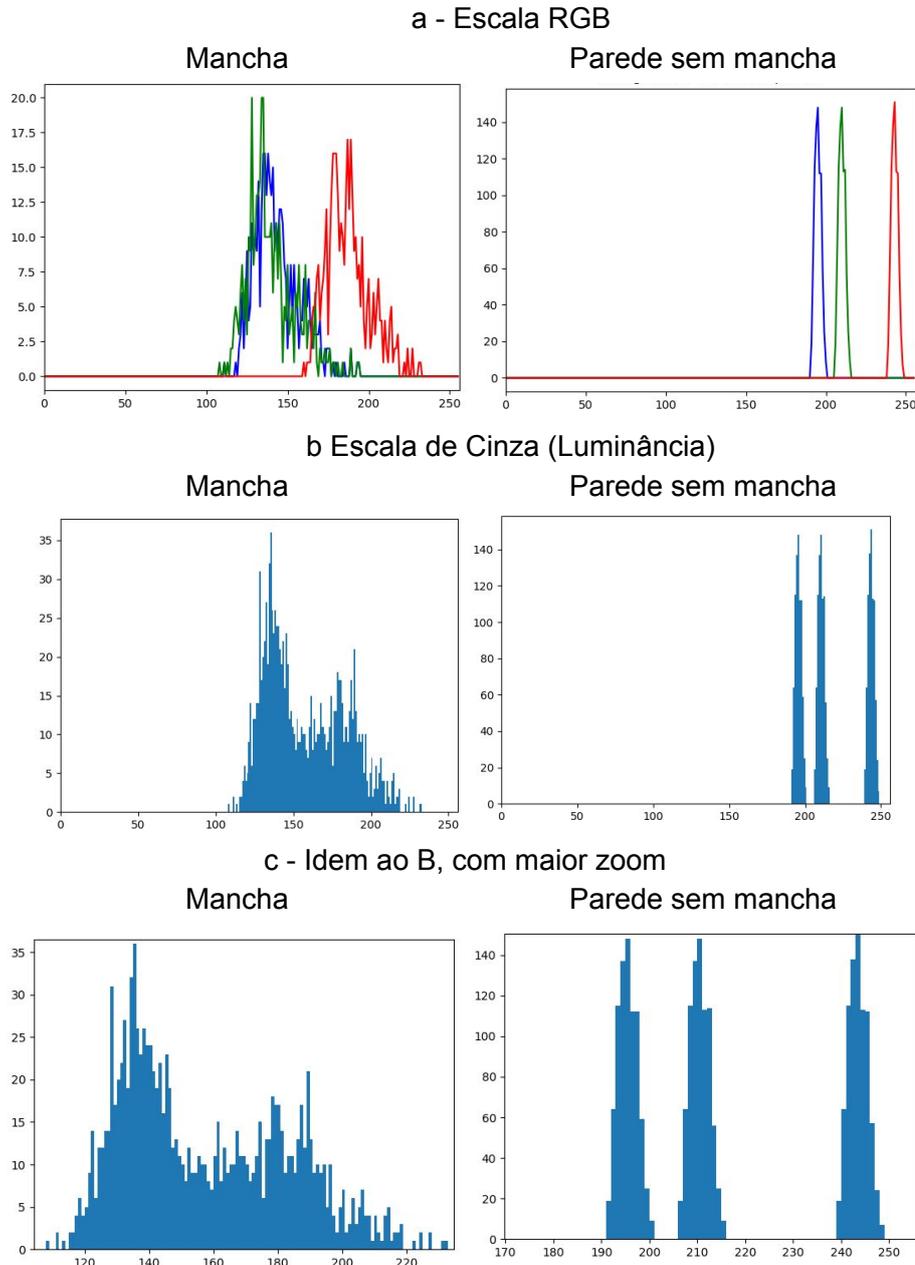


Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

resultou em valores semelhantes para a *Green* e *Blue* (Verde e Azul) e valores inferiores para a frequência *Red* (vermelha). Além disso, os valores dentro da escala se concentraram entre 30 e 130. Já para a escala de cinza, a variação ficou entre 30 e 120.

Com relação ao último equipamento os valores encontrados foram mais distintos, quando comparado aos anteriores. Todos os valores, em ambas as escalas,

Figura 44 – Histogramas para equipamento DJI Matrice 200.



Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

tendenciam para números mais altos, ou seja, tons mais claros ente 110 e 240. A Figura 40 já havia esclarecido que os resultados foram mais claros que para os demais equipamentos e os histogramas da Figura 44 confirmaram a suposição. Além disso, é notória a distinção dos valores da frequência Red para a escala RGB, devido a luminosidade solar as imagens ficaram mais avermelhadas e consequentemente o histograma foi capaz de refletir isso.

Como quanto mais próximo a zero mais escura é a cor dos *pixels*, o resultado encontrado para todos os equipamentos é coerente com a região delimitada da mancha, visto que ela é composta majoritariamente por tons de cinza escuro. Até mesmo os resultados encontrados para o DJI Matrice 200 foram coerentes pois quando testado a extração de histograma de regiões sem mancha os valores encontrados tendenciaram ainda mais para próximos de 256.

Logo, na posse dos histogramas tanto RGB como escala de cinza para os equipamentos, foi necessário definir qual deles seria utilizado para a etapa seguinte. Percebe-se que as distribuições de frequência são muito semelhantes nos espaços G, B e escalas de cinza e um pouco diferente da distribuição no espaço R.

Melo *et al.* (2018) cita que os espaços de cores RGB e escala de cinza alcançam valores semelhantes no teste de porcentagem de manchas, inferindo que a escala de cinza pode ser utilizada, tendo a vantagem do menor custo computacional.

Além disso, o resultado encontrado para o equipamento *DJI Matrice 200* apresentou outro argumento válido para a decisão de qual espaço de cor utilizar, tendenciando a escolha para a escala de cinza. Isso se deu devido ao fato de a luminosidade solar ter acarretado em uma reconstrução com tons mais avermelhados para tal equipamento, quando comparado aos demais, assim os intervalos definidos como patologia ou mancha seriam mais distintos quando comparados um equipamento ao outro, essencialmente nos valores do espaço de cor *Red* (vermelho).

Assim, Tabela 7 a seguir expõe um resumo de tal resultados, constando a quantidade de pixel de cada ortoimagem (resolução), a posição dos *pixels* em que se extraiu a região considerada patologia (mancha) e por fim qual os limites na escala de luminância que foi utilizada para inserção no segundo algoritmo. O intervalo de luminância foi extraído dos histogramas dos seus respectivos equipamentos e buscaram englobar uma variação que contém pelo menos 90% dos valores encontrados.

Tabela 7 – Resumo de amostras para classificação de pixel.

Equipamento	Resolução	Posição da amostra	Intervalo de luminância
<i>Laser Scanner</i>	492 x 1697	350:390 , 960:975	40:140
<i>DJI Mavic Air</i>	463 x 1708	315:340 , 935:950	35:110
<i>DJI Matrice 200</i>	505 x 1791	350:390 , 980:990	118:200

Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

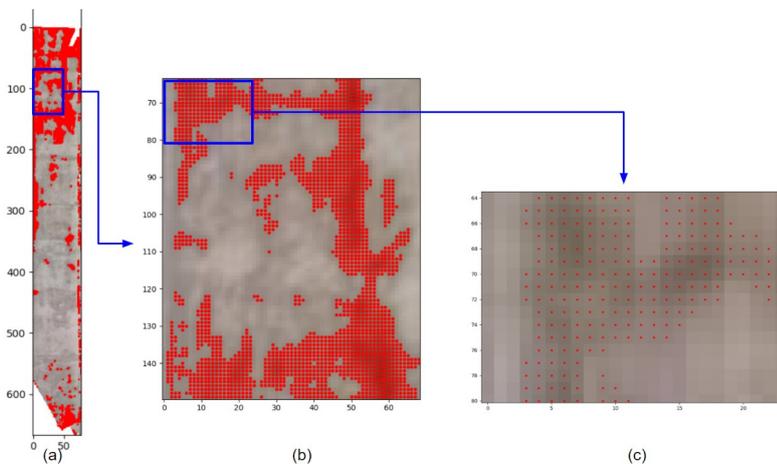
No item anterior, que dizia respeito a geração das ortoimagens, constatou-se que o DJI Mavic Air possuía tons mais escuros, o Laser Scanner tons intermediários e o DJI Matrice 200 era composto por ortoimagens mais claras que as demais. Quando analisada a Tabela 7, os intervalos de luminância definidos seguiram esse padrão, visto que quanto mais alto o valor, mais claros eles são.

4.3.2 Etapa 2: Classificação da ortoimagem de acordo com intervalo definido

Por fim, os intervalos definidos foram acrescentados no algoritmo de binarização, que identificou os pixels como pertencentes ou não ao conjunto. Quando o pixel foi definido como pertencente ao intervalo, o algoritmo alterou a sua cor para vermelho, facilitando assim a visualização e possível verificação visual dos dados encontrados.

A Figura 45 exemplifica o resultado do processo. Nela, um zoom foi dado em uma das regiões do brise.

Figura 45 – Identificação dos pixels.



Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

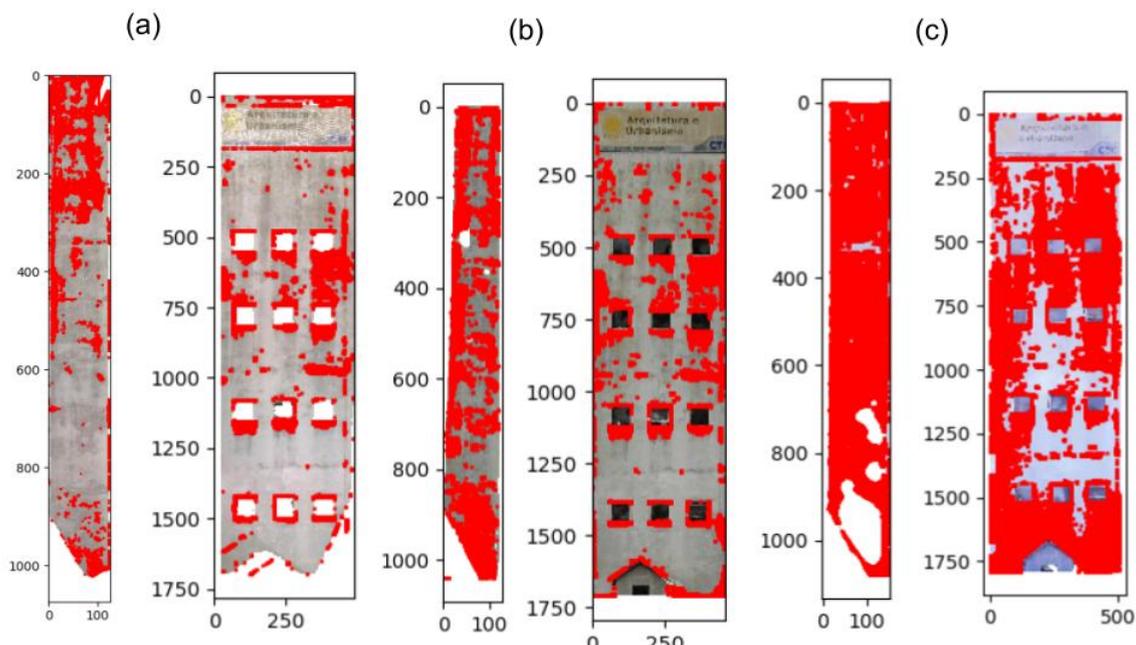
Quando o elemento é observado em maior escala, Figura 45a, aparentemente há mais regiões escuras que deveriam ser classificadas como mancha. Porém, ao aproximar a imagem e observar os pixels marcados fica claro que o resultado encontrado está correto. Há alguns pixels cinzas na Figura 45c mas não escuros o suficiente para se enquadrarem no padrão definido.

Além disso, a Figura 45 permite a visualização e compreensão da quantidade de pixels presentes na ortoimagem reconstruída. O nível de detalhe alcançado é o suficiente para o entendimento de quais são os possíveis problemas presentes no local.

Por fim, a Figura 46 apresenta o resultado da verificação e binarização das ortoimagens para os três equipamentos e para os dois planos distintos pré definidos (parede plana e brise), sendo respectivamente as informações referentes ao Laser Scanner, DJI Mavic Air e DJI Matrice 200.

Já a Tabela 8 expõe os valores numéricos decorrentes da aplicação do último algoritmo. Sendo eles referentes a porcentagem de pixel dentro do intervalo de cor definido. A coluna de Pontos Total refere-se a quantidade de pixels presente em cada uma das ortoimagens, Pontos Mancha diz respeito a quantidade de pixels dentro da

Figura 46 – Resultado da segmentação dos dados.



Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

região classificada e a última coluna é a porcentagem de pixels do intervalo quando comparados ao total.

Tabela 8 – Tabela Resumo resultados da segmentação das imagens.

Equipamento	Plano	Pontos Total	Pontos Mancha	Porcentagem
Laser Scanner	Parede Plana	834.924	35.651	4,27%
DJI Mavic Air	Parede Plana	790.804	42.187	5,33%
DJI Matrice 200	Parede Plana	904.455	253.990	28,08%
Laser Scanner	Brise	127.750	18.072	14,15%
DJI Mavic Air	Brise	134.289	25.364	18,89%
DJI Matrice 200	Brise	164.008	81.597	49,75%

Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

Aparentemente ocorreu um erro no último resultado, a quantidade de pixels identificadas como mancha foi de 28,08% para a parede plana e 49,75% para o brise, representando valores até cinco vezes maiores do que o resultado encontrado para os outros dois equipamentos.

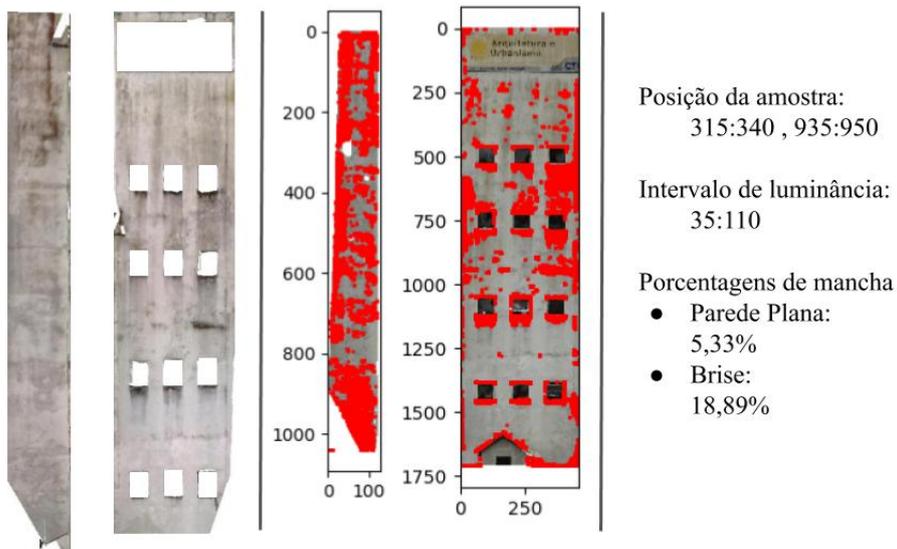
Esses valores estão associados ao fato de a imagem ser muito clara e as manchas se assemelharem a cor da parede, assim, quando a região foi estudada para extração do intervalo, parte dos pixels possuía tonalidades semelhantes a da parede sem mancha.

Para contornar o problema, como o histograma apresentou um vale e dois picos, um novo intervalo foi definido para a região com valores mais baixos, ou seja, incluindo

todos os valores a esquerda do vale, resultando em um intervalo de luminância entre 118 e 170.

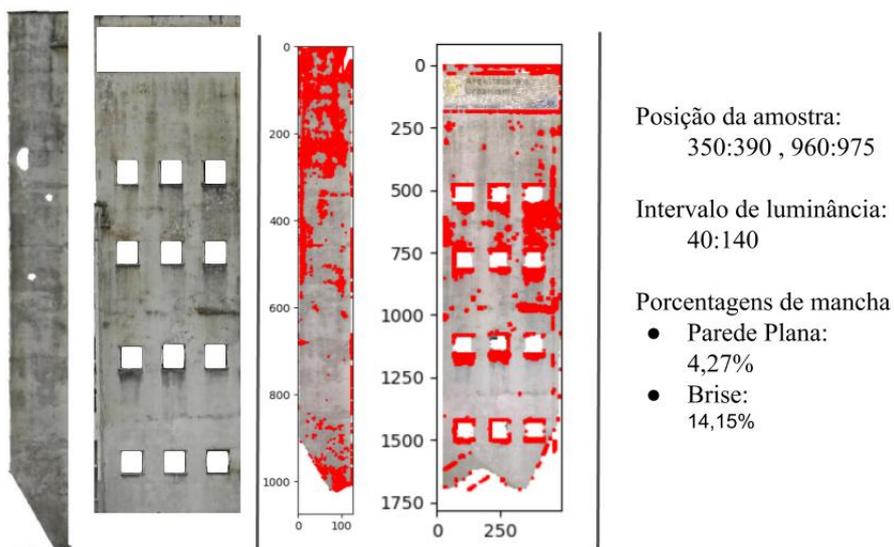
Nas Figuras a seguir objetivou-se criar um resumo para cada um dos casos, com suas principais características encontradas. A Figura 47 relaciona-se ao Laser Scanner, a Figura 48 ao DJI Mavic Air e a Figura 49 ao DJI Matrice 200.

Figura 47 – Resultados do equipamento *Laser Scanner*.



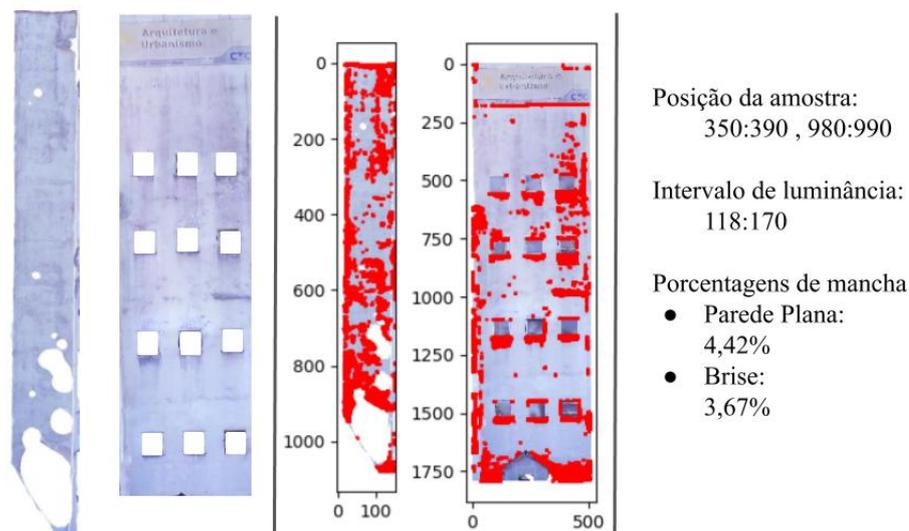
Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

Figura 48 – Resultados do equipamento DJI Mavic Air.



Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

Figura 49 – Resultados do equipamento DJI Matrice 200.



Fonte: Desenvolvido pela autora (2019).

Tais figuras permitiram a realização de dois tipos de análise, a primeira delas foi a comparação da ortomagem do próprio equipamento antes e depois da segmentação e a segunda diz respeito a contraposição entre as figuras, ou seja, entre os resultados para cada um dos casos.

A Figura 47, referente ao Laser Scanner, apresentou visualmente resultados convincentes pois ao comparar a ortomagens com a imagem classificada, os locais demarcados como mancha fazem sentido.

Para o segundo caso, relacionado ao DJI Mavic Air (Figura 48), por se tratar de tons mais escuros, as regiões mais próximas ao preto ganharam destaque na ortomagem e a comparação com a imagem segmentada foi facilitada. Aparentemente algumas manchas escuras não foram classificadas. Porém, ao analisar mais de perto fica claro que na verdade o valor dentro da escala de luminância é baixo, não sendo assim o suficiente para ser classificado como um possível problema.

Com relação aos resultados do DJI Matrice 200 a classificação resultou em empecilhos não encontrados para os demais. Como a reconstrução gerou ortomagens com tons mais claros, até mesmo para as regiões de manchas, o processo para extração do intervalo de luminância e porcentagem de mancha acabou não atingindo resultados confiáveis. Ao verificar visualmente a Figura 49 e comparar a ortomagem com os pixels em vermelho, segmentados, é difícil distinguir os locais em que realmente há manchas.

Se a análise fosse realizada isoladamente, sem a existência de resultados para os outros equipamentos e sem conhecimento do campo, tendo posse apenas dessa

figura, seria possível concluir que o resultado foi satisfatório pois aparentemente o que está representado na ortoimagem como valores mais escuros na escala de luminância foi identificado pelo algoritmo.

O problema surge quando há valores para comparar. Isso deixa clara a importância de diferentes resultados para que possa ser realizado o processo de confronto.

Logo, a segunda tática de interpretação dos dados auxiliou no processo de definição de qual seria o melhor intervalo de luminância para o terceiro caso. Na posse das porcentagens de mancha para os demais casos, o algoritmo foi executado para os valores entre 118 e 170, conforme descrito anteriormente e a porcentagem resultante foi coerente para o caso da parede plana mas aproximadamente quatro vezes menor para o resultado do brise. O valor inferior do intervalo recebeu testes de variações, introduzindo no lugar do 118 números ainda menores, ou seja, buscou-se tonalidades mais escuras na ortoimagem mas a porcentagem não foi alterada.

A porcentagem de possíveis patologias variou entre 4% e 5% para as paredes planas. Em relação aos brises, manteve-se próxima dos 15% para os dois primeiros casos e de 4% para o *DJI Matrice 200*.

De modo geral, o comportamento dos dados coletados e as estratégias adotadas foram satisfatórios, visto que foi possível a extração de dados quantitativos.

As principais inconsistências encontradas foram em relação à reconstrução dos brises, transversais as fachadas, e a interferência da radiação solar para o último equipamento. O primeiro problema pode ser resolvido com imagens oblíquas capturadas a partir de diferentes distâncias da edificação, assegurando a sobreposição de imagens nos objetos não paralelos a fachada. Já o segundo ponto poderia ser resolvido com uma nova aquisição de dados, em um dia com condições climáticas mais favoráveis.

Apesar de terem sido encontrados dados quantitativos é difícil definir qual deles representa mais fielmente a edificação, visto que vários processos intermediários na estratégia foram definidos pelo pesquisador, como qual a região da extração da escala de luminância na figura e posteriormente qual o intervalo de luminância no histograma.

Os dados extraídos do algoritmo podem ser úteis para identificação das áreas na fachada que necessitam de maior atenção pois provavelmente possuem algum problema. Somado a isso, podem constituir um embasamento preliminar com relação ao quantitativo necessário para resolver o problema de determinados locais.

Logo, na posse dos resultados e dados extraídos das estratégias elaboradas no presente trabalho, um engenheiro seria capaz de analisar a fachada de edificações de forma mais precisa, focando sua atenção nos locais detectados como possíveis problemas. Além disso, seria possível inserir no algoritmo que extrai porcentagens de mancha apenas uma área específica, para poder assim adquirir a área do local e utilizar tal valor para planejamento de reforma.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 QUANTO AO ALCANCE DOS OBJETIVOS

5.1.1 Objetivo geral

- Propor estratégias para inspeção do estado de conservação de fachadas com uso de *RPA*s e *Laser Scanner*.

O objetivo geral do trabalho foi alcançado e foi possível propor estratégias para a inspeção do estado de conservação de fachadas com o uso de *RPA*s e *Laser Scanner*, em especial, para a edificação do departamento de Arquitetura e Urbanismo da UFSC.

A inspeção de fachadas através do emprego de novas ferramentas e tecnologias, mesmo sendo de interesse por algumas empresas, se encontra em um período de difusão da sua existência e de possibilidades no Brasil e também na Grande Florianópolis. Até a elaboração do presente trabalho, o seu emprego como auxílio na detecção do nível de deterioração em processos de manutenção preventiva e corretiva é bastante reduzido, conforme respostas obtidas dos entrevistados nessa pesquisa.

Percebe-se pelos resultados da pesquisa, que é possível elaborar e implementar estratégias capazes de abranger diferentes tipologias de edificação, sejam elas complexas, altas ou simples.

A principal vantagem da utilização dessas estratégias é a possibilidade de visualização mais detalhada dos componentes e extração de medidas, ambas capazes de auxiliar no processo de identificação do estado de conservação e nas etapas de manutenção e restauração. Dessa forma, as estratégias elaboradas poderiam ser utilizadas como suporte em todas as etapas pós obra, desde as-built até demolição, porém, sendo adaptadas para cada caso.

Os maiores empecilhos do seu emprego referem-se à necessidade de profissionais qualificados tanto para compreensão e análise das manifestações patológicas como para o manuseio dos *softwares* utilizados. Ainda não existe no mercado uma solução única de *software* capaz de desempenhar todas as etapas presentes nas estratégias elaboradas.

5.1.2 Objetivos específicos

- Compreender o processo de inspeção de fachadas por profissionais da Grande Florianópolis e o nível de maturidade com relação ao uso de tecnologias no processo.

Por meio das entrevistas realizadas com os profissionais atuantes no mercado de laudos e reformas foi possível compreender como os trabalhos são realizados

atualmente pelas empresas entrevistadas e qual a visão futura com relação à mudança no processo para inserção de novas ferramentas.

As três entrevistas realizadas tornaram possível trazer pontos de vistas distintos. Segundo a observação das respostas recolhidas, há sim empresas buscando integrar ao seu produto novas tecnologias. Porém, tal abordagem concentra-se em empresas e engenheiros que elaboram laudos. Empresas tradicionais de reforma ainda apresentam resistência às mudanças e não vislumbram as vantagens possíveis, já que o processo habitual é consagrado dentro dos negócios.

Além disso, em nenhum dos casos averiguados foi possível constatar metas atuais ou futuras de utilizar os dados coletados por equipamentos como RPAs para extração de dados quantitativos. Ou seja, as ferramentas estão sim sendo introduzidas no mercado mas sem extrair seu potencial ao máximo.

- Identificar quais são as tecnologias existentes para inspeção do estado de conservação de fachada;

A revisão literária do presente trabalho ocupou-se de averiguar e investigar as possibilidades existentes, empregadas em pesquisas acadêmicas como também discorrer a respeito das técnicas mais comuns e tradicionais adotadas no mercado de trabalho.

Claramente a estratégia de investigação visual, sem auxílio de outras ferramentas, ainda é aceita e empregada por diversas empresas. São múltiplas as técnicas de mapeamento do estado de conservação de fachadas, as quais foram objeto de reflexão, no sentido de compreender até que ponto seriam suficientes para um mapeamento correto, que permitisse registrar de forma adequada as anomalias das fachadas. Assim, conforme a pesquisa realizada conclui-se que as técnicas mais simples apresentam inúmeras limitações, sendo as mais relevantes a falta de precisão alcançada com a sua aplicação, além do risco de acidente para o operador. Contrariamente, as técnicas mais elaboradas, apesar de permitirem alcançar uma precisão mais significativa, representam um custo importante, dentre elas destacou-se o uso dos RPAs com câmeras comuns, Laser Scanners terrestres e acoplados a RPAs e câmeras térmicas terrestres ou também acopladas a RPAs.

No decorrer do trabalho duas das três tecnologias mais recentes relacionadas a equipamento foram empregadas, sendo elas o RPA e o *Laser Scanner*. A terceira ferramenta, não tratada ao longo das estratégias elaboradas refere-se à câmeras termográficas, com sensores infravermelhos, amplamente utilizada em pesquisas atuais, sendo ela capaz de representar problemas de deslocamento de revestimento cerâmico, por exemplo, sem a presença de um colaborador percorrendo verticalmente as fachadas, conforme ocorre no processo convencional.

É relevante a compreensão de que as tecnologias não se restringem apenas aos equipamentos, mas também estão associadas aos *softwares* e às técnicas de processamento de dados.

Todos os *softwares* empregados, desde os relacionados à aquisição de dados até a produção do modelo tridimensional e posteriormente bidimensional foram extremamente importantes, assim como a comunicação entre eles, através da importação e exportação de arquivos.

A segmentação e classificação, relacionadas ao processamento de imagem, representam tecnologias com uma vasta quantidade de possibilidades relacionadas a como utilizá-las. Os algoritmos desenvolvidos e utilizados no trabalho tratam-se de processos simples e relativamente manuais de segmentação. Porém, pesquisas podem alcançar campos de estudo que dão aos computadores a habilidade de aprender sem serem explicitamente programados, através de *Machine Learning* onde é possível detectar padrões nos dados apresentados e agir com base neles, generalizando para casos novos. Assim, um modelo, depois de incrementado com um banco de dados relativos às patologias, manchas e problemas, seria capaz de identificar sozinho tais padrões, podendo classificar o estado no qual o edifício se encontra no momento em que os dados foram recolhidos, sendo capaz de até mesmo auxiliar na compreensão do avanço das patologias, através da recolha de dados ao longo dos anos.

- Realizar levantamento de dados em fachadas com uso de inovações tecnológicas;

O levantamento dos dados foi uma das etapas mais importantes e cuidadosamente realizadas. A etapa de experimentos pilotos e recolha das imagens de diferentes posições e ângulos auxiliou na visualização de todos os possíveis problemas decorrentes do processo.

Estudos encontrados na literatura se prenderam, na sua grande maioria, ao levantamento de informações de edificações planas, sem presença de elementos distintos. O fato de a edificação desse estudo ser curva e apresentar componentes como esquadrias e brises transversais ao plano da fachada fez com que técnicas usualmente utilizadas não fossem aplicáveis para tal caso, como a estratégia de adquirir apenas imagens paralelas às fachadas.

Dentre os três equipamentos utilizados, cada um deles possuiu algum problema para a reconstrução tridimensional completa. Com relação ao *Laser Scanner*, os empecilhos se relacionaram com partes da edificação obstruída atrás de elementos, podendo ser solucionado com a adição de dados aéreos ou instalação de plataformas intermediárias para o posicionamento do *Laser Scanner* Terrestre.

Nos casos relacionados aos RPAs seria necessário a inclusão de novas fotografias recolhidas de diferentes posições e ângulos. Fotos paralelas aos brises também

poderiam ser incluídas no estudo, porém iriam exigir muito mais tempo em campo para recolher dados de todas as saliências e um processamento de dados para reconstrução tridimensional que exigiria computadores mais potentes. Além disso, torna-se imprescindível refazer desde o processo inicial para os dados coletados pelo DJI Matrice 200, visto que as condições climáticas se mostraram de suma importância aos resultados.

Uma terceira alternativa seria incorporar os dados recolhidos de um equipamento ao outro. Pesquisas tem representado as vantagens da integração de Laser Scanners e fotografias aéreas, destacando-se a precisão alcançada para todas as faces e regiões do objeto de estudo.

- Realizar medições quantitativas através dos dados gerados pelo levantamento;

As medições quantitativas alcançadas não foram diretamente registros métricos, relacionadas a áreas e comprimentos. Como o algoritmo de segmentação trabalhou de pixel a pixel até seria possível extrair a área de uma parcela da imagem mas só seriam levado em conta os pixels dentro do intervalo pré definido. Assim, o valor encontrado para área não seria condizente com o real, pixels claros entre os mais escuros não seriam contabilizados. Caso o interesse fosse realmente extrair perímetros e áreas com o *Software Bentley ContextCapture* é possível realizar o trabalho sem esforços, o operador apenas necessita indicar a região que gostaria de retirar as medidas.

Os dados quantitativos atingidos, relacionados à porcentagem de mancha e à quantidade total de pixel permitiu uma visão mais ampla e sistemática, auxiliando o profissional na tomada de decisão até mesmo referente a complexidade do estudo posterior que deverá ser realizado, compreendendo a quantidade de locais que demandam maior atenção.

5.2 CONCLUSÃO

O mapeamento 3D de edifícios danificados pode fornecer dados significativos para o desenvolvimento de um modelo de informações de edifícios. Esses dados podem ser usados como entradas para várias metodologias para estimar custos de manutenções e falhas.

As inspeções relacionadas aos RPAs e ao *laser scanner* mostraram-se como técnicas efetivas, principalmente pela possibilidade de análise de áreas maiores ao invés de pontos específicos, atingindo com grande precisão, sem a necessidade de grandes espaços para locação de equipamentos e ainda contando com a vantagem de acesso a diferentes áreas de forma rápida, no caso do uso dos RPAs.

As técnicas apresentadas foram capazes de identificar as patologias constatadas visualmente, demonstrando que podem ser utilizadas no mapeamento de áreas

patológicas, criando banco de dados para análise do estado de conservação de edifícios.

5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No presente trabalho não foram realizadas análises relacionadas aos custos que a manutenção com tais equipamentos apresenta frente ao processo convencional, sendo assim, ressaltado como possibilidade para trabalhos futuros.

Somado a este, inclui-se como possíveis trabalhos futuros o estudo da integração entre dados recolhidos com laser scanner e RPAs, testes de aquisição e processamento de dados com câmeras munidas de sensores térmicos, aquisição de dados com as mesmas estratégias porém em uma tipologia de edificação diferente e por fim o desenvolvimento de algoritmos para identificação automática das manchas, assim como a sua classificação automática.

REFERÊNCIAS

- AGISOFT. **AGISOFT PhotoScan User Manual: professional edition**. [S.l.], 2014.
- ANDRADE, Henrique José Lins Ferreira de. Varredura a laser aplicada na reconstrução 3D de bens materiais do patrimônio histórico de Igarassu e Olinda, 2012.
- ANTIGA, SANTA CATARINA. **Edifício das Diretorias**. 2013. Disponível em: <http://santacatarinaantiga.blogspot.com/2013/05/edificio-das-diretorias.html>.
- ANTUNES, Elaine Guglielmi Pavei. **Análise de Manifestações Patológicas em Edifícios em alvenaria estrutural com blocos cerâmicos em empreendimentos de interesse social em Santa Catarina**. 2011. p. 263. Diss. (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14037**: Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações. Rio de Janeiro, maio 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-1**: Edificações habitacionais. Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, maio 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5674**: Manutenção de Edificações: Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro, maio 2012.
- AUTODESK INC. **Revit**. [S.l.]. Disponível em: <https://www.autodesk.com.br/products/revit/overview>.
- BARAZZETTI, L. *et al.* Automation in Multi-Image Spherical Photogrammetry for 3D Architectural Reconstructions. **11th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage (VAST)**, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.2312/PE/VAST/VAST10S/075-081>.
- BASTIAN, A. V. CityGML e fotogrametria digital na documentação arquitetônica: potencialidades e limitações. **Encontro Brasileiro de Tecnologia e Informação e Comunicação na Construção**, Anais, n. 4, 2015. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/engineeringproceedings/tic2015/051.pdf>.
- BAUER. Materiais de Construção. **LCT**, Rio de Janeiro, v. 5, 2001.
- BAUER; CASTRO, E. K. de. Patologias mais Correntes nas Fachadas de Edifícios em Brasília. **3º Congresso Português de Argamassas de Construção**, v. 3, 2010.

BEIRÃO, C. C. B. **O potencial do laser scanner terrestre para o inventário do patrimônio arquitetônico**. 2011. p. 79. Diss. (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

BERALDIN, J-Angelo *et al.* Traceable 3D imaging metrology: Evaluation of 3D digitizing techniques in a dedicated metrology laboratory. **Optical 3D Measurement Techniques**, Zurich, p. 310–318, 2007.

BORDIN, F. *et al.* Aquisição de dados de intensidade de alvos florestais com Laser Scanner Terrestre: uma abordagem de exploração metodológica. **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), Anais**, Foz do Iguaçu, p. 6121–6128, 2013.

BRITO; N. J. GROETELAARS; A. L. DE AMORIM, B. L. de. O Uso da Tecnologia Dense Stereo Matching Para Levantamento de Edificações Existentes. **Seminário Nacional de Documentação do Patrimônio Arquitetônico com o uso de tecnologias digitais**, Belém, 2012.

BURDZIAKOWSKI, Pawel. UAV in today's Photogrammetry - Applications Areas and Challenges. **Surveying Geology Mining Ecology Management (SGEM)**, Poland, v. 18, p. 241–248, 2018. ISSN 1314-2704. DOI: 10.5593/sgem2018/2.3/S10.031. Disponível em: <https://search.proquest.com/docview/2185858688/abstract/9C445A0B22DA40F9PQ/1?accountid=26642>.

CASTRO, U. R. **Importância da manutenção predial preventiva e as ferramentas para sua execução**. 2007. p. 173. Diss. (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais.

CHATZISTAMATIS, S. *et al.* Fusion of TLS and UAV Photogrammetry data for post-earthquake 3D modeling of a cultural heritage Church. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Istanbul, Turke, XLII-3/W4, 2018.

CO., SZ DJI Technology. **MAVIC AIR Especificações**. 2018b. Disponível em: <https://www.dji.com/br/mavic-air/info>.

DAUGĖLA, Ignas *et al.* Comparing Quality of Aerial Photogrammetry and 3D Laser Scanning Methods for Creating 3D Models of Objects. **Environmental Engineering**, Lithuania, v. 10, 2017. ISSN 2029-7092. DOI: <https://doi.org/10.3846/enviro.2017.182>. Disponível em: <http://enviro.vgtu.lt>.

DEZEN-KEMPTER, Eloisa *et al.* 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, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v10i2.102710>.

FASSI, F. *et al.* Comparison between laser scanning and automated 3D modelling techniques to reconstruct complex and extensive cultural heritage areas, *International Archives of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Italy, 2013.

FERREIRA, T. *et al.* Fichas de Inspeção e Registro: Gestão Integrada de Informações sobre o edificado antigo do Seixal. **4º Congresso de patologia y rehabilitación de edificios**, v. 4, 2012.

FLORES, I; BRITO, J. de. **Metodologias de Inspeção**. 2007. Disponível em: <http://www.civil.ist.utl.pt/~joaof/ad/01%20-%20Metodologias%20de%20inspec%C3%A7%C3%A3o%20-%20PB.pdf>.

FOCUS, Faro. **Laser Scanner for fast and exact indoor and outdoor measurements in three dimensions**. 2018. Disponível em: <https://www.faro.com/products/construction-bim/faro-focus/>.

FORSTNER, W; WROBEL, B. P. **Photogrammetric computer vision. Statistic, geometry, orientation and reconstruction**. Springer, Germany: Bonn, 2016. p. 816.

FOTIFINO. **Entendendo ISO, Abertura do diafragma e Velocidade do Obturador**. Disponível em: <https://fotofino.wordpress.com/2017/08/01/entendendo-iso-abertura-do-diafragma-e-velocidade-do-obturador/>.

FREGONESE, L.; BIOLZI, L.; BOCCIARELLI, M. Surveying and monitoring for vulnerability assessment of an ancient building. **Sensors**, v. 13, 2013. ISSN 9747-9773. DOI: 10.3390/s130809747. Disponível em: <https://search.proquest.com/docview/2185858688/abstract/9C445A0B22DA40F9PQ/1?accountid=26642>.

HELENE, P. R. L. Vida útil das estruturas de concreto. **CONGRESSO IBEROAMERICANO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES**, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 1997.

HOSHINA, Jong; BAEJUNB, Hong. On condition based maintenance policy. **Journal of Computational Design and Engineering**, v. 2, p. 119–127, 2015. ISSN 2288-4300. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jcde.2014.12.006>.

IBAPE. NORMA DE INSPEÇÃO PREDIAL NACIONAL, 2012.

IPT. Projeto de Divulgação Tecnológica Lix da Cunha. **Instituto de Pesquisas Tecnológicas - Tecnologia de Edificações**, São Paulo, 1988.

ITAMBÉ. **Edifícios altos consumiram 15 milhões de m de concreto em 2017**. 2018. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/edificios-altos-consumiram-15-milhoes-de-m3-de-concreto-em-2017/>.

JETBRAINS. **The Python IDE for Professional Developers**. 2019. Disponível em: <https://www.jetbrains.com/pycharm/>.

JOHN, M. V. *et al.* Durabilidade e sustentabilidade: desafios para a construção civil brasileira. São José dos Campos, 2002.

JOHN, V. M. Avaliação da durabilidade de materiais, componentes e edifícios: cálculo do custo global. **Simpósio de Desempenho de materiais e componentes de construção civil**, p. 42–52, 1988. Disponível em: <http://www.infohab.org.br>.

LISBOA, DIOGO WANDERSON BORGES *et al.* Utilização de VANT na inspeção de manifestações patológicas em fachadas de edificações. **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia**, Maceió, 2018.

LLEWELLYN, S.; NORTHCOTT, D. The “singular view” in management case studies qualitative research in organizations and management. **An International Journal**, v. 2, n. 3, p. 194–207, 2007.

LOPES, Moisés João. **Departamento de Arquitetura e Urbanismo UFSC**. 2013. Disponível em: <https://www.google.com/maps/uv?hl=pt-BR&pb=!1s0x95273900ae5233fb>.

LUHMANN, T. *et al.* **Close Range Photogrammetry**. Scotland, UK: Whittles Publishing, 2006. p. 510.

MARTIN, Ronald A. *et al.* Evolutionary View Planning for Optimized UAV Terrain Modeling in a Simulated Environment. **Remote Sens**, v. 8, p. 26–50, 2016. DOI: 10.3390/rs8010026.

MEDEIROS, J. S. *et al.* Tecnologias de vedação e revestimento para fachadas. **Instituto Aço Brasil / CBCA - Centro Brasileiro da Construção em Aço**, Rio de Janeiro, 2014.

MELO, Carlos Mariano *et al.* Geração de mapas de danos de fachadas de edifícios por processamento digital de imagens capturadas por Vant e uso de fotogrametria digital. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 3, p. 211–226, 2018. ISSN 1678-8221. DOI: 10.1590/s1678-86212018000300277. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000300277>.

MENDONÇA, L. V.; AMARAL, M. M. do; CATARINO, P. S. **A termografia por infravermelhos como ferramenta para auxílio à inspeção e manutenção dos edifícios**. 2013. Disponível em: <http://www.spybuilding.com/index.php?id1=5&id2=2>.

NESBIT, Paul Ryan; HUGENHOLTZ, Christopher H. Enhancing UAV–SfM 3D Model Accuracy in High-Relief Landscapes by Incorporating Oblique Images. **Remote**

Sensing, Canada, v. 11, 2019. DOI: 10.3390/rs11030239. Disponível em: <https://www.mdpi.com/journal/remotesensing>.

PADILHA, A. J. *Processamento e Análise de Imagem*, 1998.

PAVI, Suelen; VERONEZ, Maurício Roberto. O Uso do Laser Scanner Terrestre na Inspeção de Pontes e Viadutos de Concreto: uma Revisão Bibliográfica. **VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas**, Rio de Janeiro, 2014.

PESCIA, A.; BONALIB, E.; GALLIB, C. Laser scanning and digital imaging for the investigation of an ancient building: Palazzo d'Accursio study case. **J. Cult. Herit.**, Bologna, Italy, v. 13, p. 215–220, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2011.09.004>.

PFEIFER, Norbert; BRIESE, Christian. *Laser Scanning - Principles and Applications*. **Institute of Photogrammetry and Remote Sensing**, 2007.

PIX4D, Support. **Pix4Dcapture - Manual and Settings**. 2018. Disponível em: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/204010419-iOS-Pix4Dcapture-Manual-and-Settings>.

POSSAN, E.; DEMOLINER, C. A. Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral. **Revista Técnico- Científica do CREA-PR**, p. 1–14, 2013. ISSN 2358-5420. Disponível em: <http://creaprw16.crea-pr.org.br/revista/Sistema/index.php/revista/article/viewFile/14/10>.

POZO, S. Del *et al.* Multi-sensor Radiometric Study to Detect Pathologies in Historical Buildings. **Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Avila, Spain, 2015. DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-193-2015.

PU, Shi; VOSSELMAN, George. Building Facade Reconstruction by Fusing Terrestrial Laser Points and Images. **Sensors**, Elsevier, v. 09, p. 4525–4542, 2009. ISSN 1424-8220. DOI: 10.3390/s90604525. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/s90604525>.

QUINTERO, m. *et al.* Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning Training material based on practical applications. **VLAAMS Leonardo DaVinci Agentschamp v.z.w**, 2008.

REMONDINO, Fabio. Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning. **Remote Sensing**, v. 3, p. 1104–1138, 2011. ISSN 2072-4292. DOI: 10.3390/rs3061104. Disponível em: <https://www.mdpi.com/journal/remotesensing>.

RIEGL. **RIEGL VZ-6000**. 2017. Disponível em: <http://www.riegl.com/nc/products/terrestrial-scanning/produktdetail/product/scanner/33/>.

ROZZO, Fernando. **As lentes e suas características - A Distância Focal**. Disponível em: <https://blog.emania.com.br/as-lentes-e-suas-caracteristicas-a-distancia-focal/>.

SANSONI, G.; TREBESCHI, M; DOCCHIO, F. State-of-the-art and applications of 3D imaging sensors in industry, cultural heritage, medicine, and criminal investigation. **Sensors**, v. 9, p. 568–601, 2009. DOI: 10.3390/s90100568.

SANTOS, A. F. M. DOS. **Técnicas de diagnóstico e mapeamento de patologias em fachadas**. 2017. p. 139. Diss. (Mestrado) – Universidade do Porto, Porto.

SANTOS, C. F. dos; ROCHA, J. H. A.; PÓVOAS, Y. V. Utilização da termografia infravermelha para detecção de focos de umidade em paredes internas de edificações. **Ambiente Construído**, v. 19, p. 105–127, 2019. ISSN 1678-8621. DOI: 10.1590/s1678-86212019000100296. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212019000100296>.

SEIF, A.; SANTANA, M.; KREIDI, J. Protecting Baalbek's Integrity, "A Proposal for an Integrated Risk Preparedness Strategy". **UNESCO**, Beirut, Lebanon, p. 1–72, 2011. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000216381>.

SOBRAL, João Luis. *Visão por Computador*, 2002.

SOLOMON, C.; BRECKON, T. *Fundamentos de Processamento Digital de Imagens: uma abordagem prática com exemplos em Matlab*. LTC, 2013.

SOUZA, Ramon de. **DJI anuncia a Zenmuse XT2, segunda geração de sua câmera térmica para drones**. 2018. Disponível em: <https://canaltech.com.br/drones/dji-anuncia-a-zenmuse-xt2-segunda-geracao-de-sua-camera-termica-para-drones-110856/>.

TARPANI, J. R. *et al.* Inspeção Termográfica de Danos por Impacto em Laminados de Matriz Polimérica Reforçados por Fibras de Carbono. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 19, n. 4, p. 318–328, 2009. ISSN 0104-1428. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47020179012>.

TAVANI, S. Building a Virtual Outcrop, Extracting Geological Information From It, and Sharing the Results in Google Earth via Open Plot and Photoscan: an example from the Khaviz Anticline (Iran). **Computers Geosciences**, v. 63, p. 44–53, 2014.

TECNOLOGIES, FARO. **CARACTERÍSTICAS DO FOCUS LASER SCANNER**. 2018. Disponível em: <https://www.faro.com/pt-br/produtos/construction-bim/faro-focus/>.

THOMAZ, Ércio. *Manual Técnico de Alvenaria. Patologia*. **ABCI - Associação Brasileira da Construção Industrializada**, São Paulo, v. 1, p. 97–117, 1990.

- THOMAZ, Ércio. Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação. **Pini**, 1989.
- THOMAZ, Ércio; MAR, Carlos Pinto Del. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**. Brasília, Brazil: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013. p. 311.
- VERYKOKOU, S.; IOANNIDIS, C. Oblique aerial images: A review focusing on georeferencing procedures. **Remote Sens**, n. 39, 2018.
- YIN, Roberto K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookmam, 2001.

APÊNDICE A – ENTREVISTA 1

Perfil do entrevistado e da empresa:

- Seu cargo na empresa (função desempenhada): Diretor
- Tempo de atuação na área (do entrevistado da empresa): 30 anos
- Formação do entrevistado: Não possui
- Local de atuação: Florianópolis

Bloco 1 -Conhecimentos gerais sobre o trabalho de reforma em fachadas

1.1. Qual o edifício mais alto trabalhado e o caso mais desafiador?

R: Prédio de Balneário Camboriú, de 30 andares, que possuía recuperação estrutural.

1.2. Quais são os principais desafios no levantamento de informações de fachadas?

R: Acredito que a parte estrutural seja o principal desafio, para recuperar da forma correta.

Bloco 2 - Sobre as patologias em fachadas de edifícios altos

2.1. Quais as principais patologias encontradas em fachadas?

R: Reboco mal executado e a parte estrutural.

2.2. Como é feito o levantamento das patologias de fachadas?

R: Trabalho visual pela experiência, deformidades são evidentes, rachaduras também e inchamentos na parede. O sistema visual funciona bem, só não para cerâmica porque precisa descer o funcionário com o balancinho para ter certeza do que está descolando.

2.3. Como é realizada a extração de quantitativos de insumos para o orçamento da reforma?

R: Fazemos a contagem dos pontos de patologia mas quando é muito grande, como cerâmica soltando o funcionário desce com o balancinho para bater nas cerâmicas e ver os pontos que soltam pois só o visual não adianta. Mas em 90% dos casos o levantamento visual funciona.

Bloco 3 - Contribuições com a pesquisa

3.1. Você tem algum conhecimento ou contato com tecnologias que poderiam auxiliar nesse processo?

R: Não conheço mas seria bom. Gostaria de uma análise da mistura de argamassa que é muitas vezes feito errado, erro construtivo. Quando a construtora entrega

um prédio deveria entregar nas mínimas condições de proporção dos constituintes do reboco. Queria que para entregar o prédio tivesse uma análise mínima, fazer a receita do bolo certo.

APÊNDICE B – ENTREVISTA 2

Perfil do entrevistado e da empresa:

- Seu cargo na empresa (função desempenhada): Engenheiro
- Tempo de atuação na área (do entrevistado da empresa): 6 anos
- Formação do entrevistado: Engenheiro Civil
- Local de atuação: Grande Florianópolis

Bloco 1 - Conhecimentos gerais sobre o trabalho de reforma em fachadas

1.1. Qual o edifício mais alto trabalhado e o caso mais desafiador?

R: O prédio mais alto já trabalhado possui 14 andares em Florianópolis.

Para o caso mais desafiador, a gente fez uma obra relativamente pequena, de 5 andares mas o prédio estava há mais de 10 anos sem manutenção, foi bem interessante pois acho que foi uma das maiores restaurações que a gente fez em termos de quantidade de problemas, como tinha muita restauração iria aparecer muitas emendas na fachada, foi necessário convencer o condomínio de fazer uma textura nova, usamos uma textura repelente de quartzo, uma textura própria para fachada e o prédio ficou praticamente novo. São obras relativamente pequenas mas desafios grandes por conta de restauração.

1.2. Quais são os principais desafios no levantamento de informações de fachadas?

R: A maior dificuldade para se trabalhar em um prédio é quando se tem gente morando. Precisamos saber conciliar o pessoal trabalhando na obra com os moradores.

Para a questão de altura o que mais atrapalha é o vento, quando o funcionário vai descer com o balancinho, principalmente em prédios na beira mar ele fica balançando de um lado para o outro.

Bloco 2 - Sobre as patologias em fachadas de edifícios altos

2.1. Quais as principais patologias encontradas em fachadas?

R: A grande maioria que a gente tem feito são fissuras no reboco, conhecidas como fissuras pé de galinha, são as retrações do reboco e quando o prédio tem revestimento cerâmico, principalmente os mais antigos, tem muito problema de descolamento de cerâmica.

Há também muitas fissuras de encunhamento nos últimos andares que causam rachaduras horizontais entre a última viga e a platibanda. A gente faz um tratamento

bem diferenciado, conforme norma, para esses casos.

2.2. Como é feito o levantamento das patologias de fachadas?

R: Alguns condomínios já estão praticando bastante a contratação de laudos, isso facilita bastante o nosso trabalho. Em cima do laudo do especialista a gente trabalha no que está definido nele.

Mas a grande maioria dos condomínios ainda não fazem isso, em grande parte por desconhecimento e alguns por questão de economia mesmo, não querer gastar com isso.

Então, nesses casos é preciso ir até o edifício e inicialmente fazer uma análise visual, sem realizar testes. Com base na experiência é definido quais são as soluções. São retiradas algumas fotos, elas são posteriormente analisadas no computador para apresentar um orçamento, uma proposta.

2.3. Como é realizada a extração de quantitativos de insumos para o orçamento da reforma?

R: Os quantitativos são medidos *in loco*. Algumas empresas fazem pelo tamanho do prédio, ele já tem um valor estipulado pelo padrão de prédio e tamanho. Mas no nosso caso a gente realmente mede, mede área de fachada, piso, revestimento cerâmico, realmente vamos ver no local.

Com as áreas das fachadas medidas, por exemplo, para a área de fissura no reboco dá-se uma analisada conforme o nível de problema, quanto mais verifica-se o problema de fissura determina-se o quantitativo, baseando-se assim no grau de problema verificado pelas pessoas experientes.

Os resultados encontrados ficam muito próximos da realidade devido ao histórico de obras que a empresa possui. Os dados já estão registrado no computador há 5 anos por mim mas a 20 pela empresa. Tem-se a relação de por exemplo, essa obra a dificuldade é parecida com aquela, então a gente tem um custo certo para pagar o pessoal por metro quadrado, a gente conseguiu criar um banco de dados para poder estabelecer o custo que será cobrado do condomínio em função do tamanho do problema.

Bloco 3 - Contribuições com a pesquisa

3.1. Você tem algum conhecimento ou contato com tecnologias que poderiam auxiliar nesse processo?

R: A questão da restauração ainda é um serviço muito antiquado, por mais que a gente procure novas tecnologias praticamente eu desconheço porque os problemas são praticamente sempre os mesmos, descolamento de cerâmica, por exemplo. Até hoje a restauração é feita da mesma forma que era feito há 20 anos atrás, tirando os produtos que tiveram sua qualidade melhorada e evoluíram, a mão de obra e o procedimento basicamente continuam os mesmos.

Empresas especializadas na questão de laudo podem fazer melhor uso da tecnologia. Já ouvi que algumas têm usado drone em algumas situações. Nos prédios em Florianópolis e em Balneário ainda não existe a necessidade de grandes tecnologias mas irá existir, quando são prédios grande a gente vai olhar metade de baixo, metade de cima olhando para baixo, não é algo preciso mas temos um banco de dados para nos dar suporte. A gente normalmente tem acertado nos quantitativos as vezes um pouco para menos ou um pouco para mais mas isso vai se equilibrando.

Um dos grandes problemas que a gente enfrenta com a manutenção predial é a falta de manutenção por parte do condomínio, preventiva, a grande maioria dos condomínios não faz levantamento de caixa para fazer manutenção preventiva, mais de 90% a gente vai fazer a manutenção de um problema ocorrido, isso é uma pena, o manual do condomínio indica o que precisa ser feito mas eles não fazem e no fim fica muito mais caro. Em alguns casos a construtora não entrega esse manual, não orienta ou entrega algo muito ruim.

APÊNDICE C – ENTREVISTA 3

Perfil do entrevistado e da empresa:

- Seu cargo na empresa (função desempenhada): Proprietário e responsável pelos laudos
- Tempo de atuação na área (do entrevistado da empresa): 7 anos
- Formação do entrevistado: Engenheiro Civil
- Local de atuação: Florianópolis e região sul do estado

Bloco 1 - Conhecimentos gerais sobre o trabalho de reforma em fachadas

1.1. Qual o edifício mais alto trabalhado e o caso mais desafiador?

R: Edifício de 27 andares em Criciúma, o mais alto da cidade. O caso mais desafiador foi o destacamento de reboco de fachada.

2.1. Quais são os principais desafios no levantamento de informações de fachadas?

R: O principal desafio é fazer um vistoriamento bem feito. A vistoria com drone é bem útil para locais em que não são muito visíveis do térreo do prédio, esse tipo de vistoria com drone auxilia a mapear, dar zoom e entender melhor o que está acontecendo na fachada. Em prédios acima de 4 a 5 pavimentos é mais útil o uso do drone.

O difícil é que muitas vezes é que só a imagem não é o suficiente. Na parte de trincas, por exemplo, você mensurar com a imagem do drone e a parte de destacamento de pastilhas você mensurar sem ter vistoria com termovisor ou com um funcionário fazendo isso a parte de quantificação fica comprometido. Fiz o levantamento de uma caixa d'água com um termovisor fixo, não acoplado ao drone e da para ver bem certinho os locais onde tem pastilha descolando

Bloco 2 - Sobre as patologias em fachadas de edifícios altos

2.1. Quais as principais patologias encontradas em fachadas?

R: Descolamento de pastilha e fissura.

2.2. Como é feito o levantamento das patologias de fachadas?

R: Para o levantamento realiza-se filmagem e eu vou acompanhando ao lado, quando vejo algum ponto de patologia o operador do drone para e tira fotos, dando zoom e fazendo o possível para capturar as patologias.

2.3. Como é realizada a extração de quantitativos de insumos para o orçamento da reforma?

R: Para o levantamento de quantitativos é feito ainda a contratação de um funcionário e ele faz um teste de opacidade. Em casos de destacamento de pastilha

de fachada ele deixa marcado os locais em que está descolado ou quase descolando e com isso se faz a análise de área.

Para outros casos, como fissuras, realiza-se uma estimativa, através de inspeção visual e de análise visual das imagens levantadas com o drone mas não é feita nenhuma medição dos dados levantados com o drone.

Bloco 3 - Contribuições com a pesquisa

3.1. Você tem algum conhecimento ou contato com tecnologias que poderiam auxiliar nesse processo?

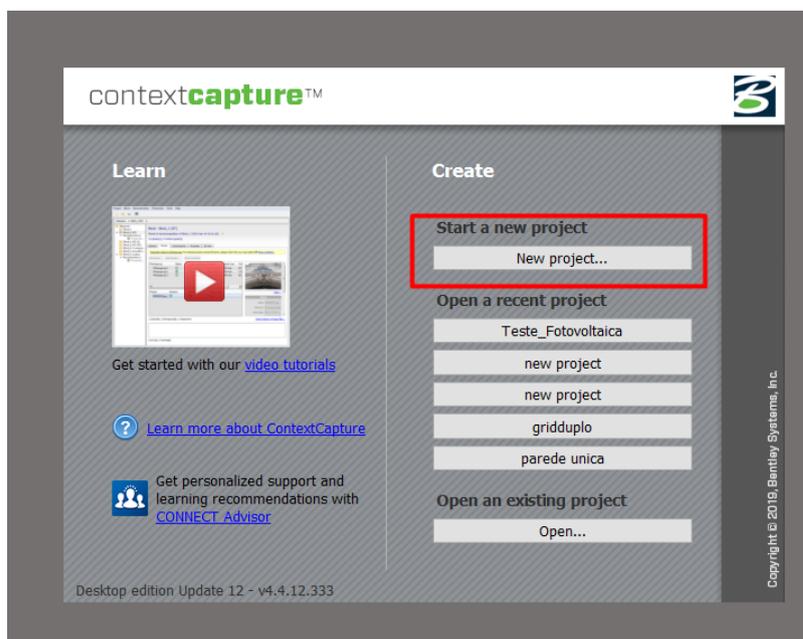
R: Além do uso do drone uma tecnologia diferenciada é a câmera térmica que através da mudança de temperatura é possível verificar problemas em fachadas.

APÊNDICE D – PASSO A PASSO PROCESSAMENTO CONTEXTCAPTURE

ABRIR UM PROJETO NOVO:

1. Executar o *ContextCapture Master* e Clicar em *New Project*(50);

Figura 50 – Criar um novo arquivo no ContextCapture.



Fonte: Desenvolvido pela autora.

2. Inserir o nome desejado em *Project Name*, e escolha a pasta desejada para *Project Location*;

3. Clicar em *Ok*;

Assim, tem-se um projeto criado com um *Block*, sendo este o local onde é feito o trabalho de modelagem 3D (importação de fotos, pontos de controle, aerotriangulação, reconstrução e produção).

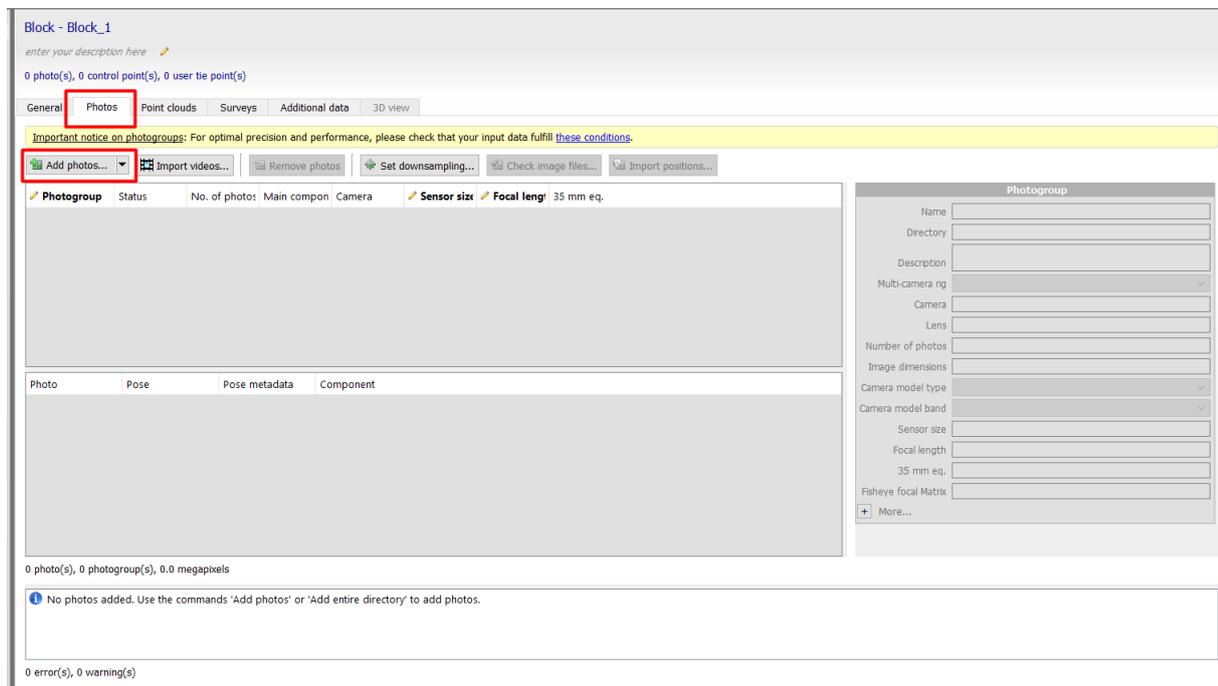
MODELAGEM 3D:

1. Acessar a aba *Photos* e selecionar *Add fotos... > Add photo selection...*(51);
2. Selecionar as fotos que estão na pasta desejada;
3. Clicar em *Open*;

As fotos possuem metadados contendo o nome da câmera usada e os dados de comprimento focal. O dado de sensor foi retirado da base de dados de câmeras que o *ContextCapture* possui.

4. Acessar a aba *General*, e clicar em *Submit Aerotriangulation*;
5. Clicar em *Next*;
6. Escolher a opção *Use photo position metadata for adjustment*(52);
7. Clicar em *Next*;

Figura 51 – Adicionar fotos.



Fonte: Desenvolvido pela autora.

8. Clicar em *Submit*;

Caso o processo fique *“Pendente - Pending”*, é necessário verificar se o *ContextCapture Engine* encontra-se aberto. Uma vez finalizado o processo, tem-se a aba *General* com a mensagem *“Complete Photos”*

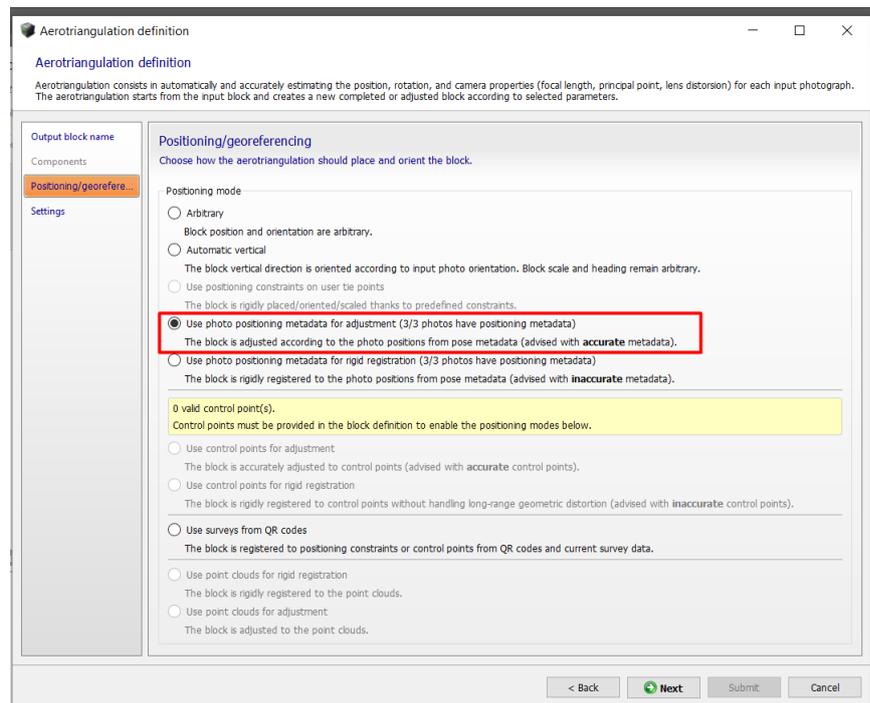
9. Acessando a aba *3D View* é possível verificar o resultado da aerotriangulação;

O próximo passo é a reconstrução, onde é definido alguns parâmetros antes da produção do modelo 3D como:

- Definição da área espacial a ser modelada
- Divisão matricial da produção para limitação da memória RAM a ser usada
- Sistema de projeção geográfica a ser usada como saída
- Restrições de áreas com baixa textura para evitar furos (lagos, rios, etc)
- Configurações do processamento (simplificação geométrica e precisão geométrica)

10. Para iniciar a reconstrução clicar em *“New Reconstruction”* na parte inferior da aba *General*;

Figura 52 – Opção para aerotriangulação.



Fonte: Desenvolvido pela autora.

11. Na aba *General* da *Reconstrução*, clicar em *Submit new production*;
12. Preencher o campo *Name* com o nome desejado;
13. Clicar em *Next*;
14. Manter a opção *3D Mesh*;
15. Clicar em *Next*;
16. Escolher a opção "*ContextCapture 3MX*" no campo *Format*;
17. Clique em *Next*;
18. Clique em *Submit*;
19. Após finalizado, clique em *3D View* para visualizar o modelo 3D.

APÊNDICE E – ALGORITMOS

E.1 ALGORITMO DE DETECÇÃO DE CORES

```

import matplotlib.pyplot as plt
from skimage import data, io, filters
import skimage.color as color
def image_show(image, nrows=1, ncols=1, cmap='gray'):
fig, ax = plt.subplots(nrows=nrows, ncols=ncols, figsize=(14, 14))
ax.imshow(image, cmap='gray')
ax.axis('off')
return fig, ax
# Load a small section of the image.
image = io.imread('Image')[600:680, 50:200]
image_gray = color.rgb2gray(image)
image_show(image)
fig, ax = plt.subplots(1, 1)
ax.hist(image.ravel(), bins=32, range=[0, 256])
ax.set_xlim(0, 256)
plt.show()

```

E.2 ALGORITMO DE DETECÇÃO DE PIXEL SIMILAR

```

from PIL import Image
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy
from skimage import io
yellow_pixels = set()
image = io.imread('Foto2.jpeg')[650:660, 120:150]
imgdata = Image.open('Foto3.png')
img = imgdata.convert('RGB')
tamanho = []
for x in range(img.size[0]):
for y in range(img.size[1]):
tamanho.append('1')
r, g, b = img.getpixel((x, y))
l = r * 299/1000 + g * 587/1000 + b * 144/1000
if 150 >= l >= 100:
yellow_pixels.add((x,y))
nplista = numpy.array(list(yellow_pixels)) x,y = nplista.T

```

```
nptamanho = numpy.array(tamanho)
perc = (len(nplista) / len(nptamanho)) * 100
print(len(nplista))
print(len(nptamanho))
print(perc)
plt.imshow(image)
plt.scatter(x, y, s=1, color='red')
plt.show()
```