

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS**

CAMPUS PALMAS

CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL

JÚLIA COSTA OLIVEIRA

**USO DE VANTs NA INSPEÇÃO DE FACHADAS DE EDIFÍCIO NA REGIÃO DE
PALMAS-TO**

PALMAS

2020

JÚLIA COSTA OLIVEIRA

**USO DE VANTs NA INSPEÇÃO DE FACHADAS DE EDIFÍCIO NA REGIÃO DE
PALMAS-TO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como
requisito parcial para obtenção do título de Bacharel
no Curso Superior de Engenharia Civil do Instituto
Federal do Tocantins, Campus Palmas.

Orientador: Prof. Dr. Moacyr Salles Neto

PALMAS

2020

Oliveira, Júlia Costa

Uso de VANTs na inspeção de fachadas de edifício na região de Palmas – TO. / Júlia Costa Oliveira – Palmas, 2020. 89 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil do curso) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - Campus Palmas, 2020.

Orientador: Prof. Dr. Moacyr Salles Neto

1. Patologia 2. Drone 3. Inspeção 4. Fachadas I. Uso de VANTs na inspeção de fachadas de edifício na região de Palmas –TO.

FOLHA DE APROVAÇÃO

JÚLIA COSTA OLIVEIRA

USO DE VANTs NA INSPEÇÃO DE FACHADAS DE EDIFÍCIO NA REGIÃO DE PALMAS –TO

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação do curso de Engenharia Civil Instituto
Federal do Tocantins - Campus Palmas, como
exigência à obtenção do grau em Engenheiro Civil.

Aprovado em:_____/_____/_____

BANCA AVALIADORA

Prof. Dr. Moacyr Salles Neto
Orientador

Prof. Dr. Gilson Marafiga Pedroso

Prof. Dr. Thiago Dias de Araújo e Silva

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por seu amor incondicional e por permitir que a realização desse sonho fosse possível.

Agradeço aos meus pais, Valéria e Júlio, por sempre terem acreditado em meu potencial e por nunca terem medido esforços para me ajudar a alcançar meus sonhos. Agradeço-os também pelos exemplos de pessoas que são, me inspirando a trilhar pelos melhores caminhos.

Ao meu irmão, por todo apoio, carinho e incentivo recebidos diariamente.

Agradeço a toda minha família, por sempre estar disposta a me ajudar.

Agradeço ao meu namorado, que sempre esteve ao meu lado, que me ajudou nos momentos difíceis e sempre me incentivou a construir esse sonho. Agradeço também por toda ajuda e suporte.

Agradeço ao Prof. Dr. Moacyr Salles Neto, que me orientou com muita atenção. Sou grata pelos ensinamentos e pelo exemplo de profissionalismo.

Aos meus colegas de curso, com quem tive o prazer de compartilhar esses anos de estudo, em especial, aos meus amigos, Amanda, Jessievane, Luciano e Renan, companheiros de estudo e de vida, por todo o apoio e momentos compartilhados ao longo dessa jornada.

A todos os professores do curso de Engenharia Civil do IFTO, pelos conhecimentos e experiências compartilhados ao longo da graduação.

Ao Robleik, síndico do edifício de estudo, agradeço pela disponibilidade e atenção.

A todos que de alguma forma, direta ou indiretamente, ajudaram para a produção desse trabalho.

“Todo o conhecimento genuíno tem origem
na experiência direta”.

Mao Tse-Tung

RESUMO

OLIVEIRA, Júlia Costa. **Uso de VANTs na inspeção de fachadas de edifício na região de Palmas–TO**. 89 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Civil. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Palmas, 2020.

O aparecimento de patologias em fachadas de edifícios é bastante recorrente, devido às condições de agressividade às quais ele está exposto, além de fatores como falhas construtivas e manutenção. Atualmente, as inspeções nas fachadas são normalmente realizadas por métodos visuais *in loco*, que apresentam restrições como a dificuldade de acesso às estruturas, causada pelas grandes alturas. O presente trabalho teve como objetivo analisar a eficiência do uso de VANTs para inspeção da fachada de um edifício localizado em Palmas – TO, abordando diversas ferramentas que possibilitam a captura e a geração do modelo. A metodologia empregada consistiu nas etapas de captura das fotos, processamento das imagens e diagnóstico da situação. Ao final, as patologias encontradas nas fachadas foram classificadas e foi feita a comparação entre o método de inspeção tradicional e o método com o uso de drones, analisando-se os fatores tempo, qualidade e preço. O estudo apontou que, o uso de VANTs se mostra viável para inspeção de fachadas quando se utiliza as fotos obtidas como elemento principal para a pesquisa e para visualização das patologias, e as ortomagens como complemento, onde serão mapeados os pontos onde essas manifestações foram encontradas.

Palavras-chave: Patologia. Drone. Inspeção. Fachadas.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Júlia Costa. **The use of UAVs to inspect building facades in the Palmas – TO region.** 89 p. Course Completion Work (Graduation) - Civil Engineering. Federal Institute of Education, Science and Technology of Tocantins. Palmas, 2020.

The appearance of pathologies on building facades is quite recurrent, due to the aggressive conditions to which it is exposed, in addition to factors such as construction failures and maintenance. Currently, inspections on the façades are usually carried out by visual methods in loco, which have restrictions such as the difficulty of access to the structures, caused by the great heights. The present work aimed to analyze the efficiency of the use of UAVs for inspection and mapping the facade of a building located in Palmas - TO, addressing several tools that enable the capture and generation of the model. The methodology used consisted of the steps of capturing photos, processing images and diagnosing the situation. At the end, the pathologies found on the façades were classified and a comparison was made between the traditional inspection method and the method using drones, analyzing the factors of time, quality and price. The study pointed out that the use of UAVs is shown to be viable for facade inspection when using the photos obtained as the main element for research and for visualization of pathologies, and orthoimages as a complement, where the points where these manifestations were found will be mapped.

Keywords: Pathology. Drone. Inspection. Facades.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Origem das manifestações patológicas relativas às etapas de produção e uso de obras civis.....	18
Figura 2 - Diferentes desempenhos de uma estrutura.....	20
Figura 3 - Lei de evolução dos custos (Regra de Sitter).....	22
Figura 4 - Eflorescências em revestimento cerâmico	23
Figura 5 - Bolor em revestimento	24
Figura 6 - Vesículas no revestimento	24
Figura 7 - Empolamento.....	25
Figura 8 - Descolamento de placas cerâmicas.....	26
Figura 9 - Descolamento de revestimento com pulverulência	26
Figura 10 - Fissuras horizontais	27
Figura 11 - Fissuras mapeadas.....	27
Figura 12 - Fissuras geométricas em revestimentos	28
Figura 13 - Exemplo de variações de resultados para o GSD	33
Figura 14 - Cálculo do GSD	34
Figura 15 - Nuvem de pontos esparsa	35
Figura 16 - Nuvem densa.....	36
Figura 17 - Comparações entre fotografia tirada da fachada de edifício, modelo geométrico formado e ortoimagem.....	37
Figura 18 - Rota de voo gerada pelo DJI GS Pro	38
Figura 19 - Formas de planejamento de voo com o Pix4DCapture	39
Figura 20 - Principais modelos digitais gerados pelo Pix4D	40
Figura 21 - Ferramenta “Fluxo de Trabalho” no programa Agisoft Metashape	42
Figura 22 - Projeção de layout cilíndrico para panoramas.....	44
Figura 23 - Desenho esquemático das atividades a serem desenvolvidas.....	47
Figura 24 - Edificação residencial de estudo.....	48
Figura 25 - Drone DJI Phantom 4 Advanced.....	49
Figura 26 - Programação de voo do DJI GS Pro	50
Figura 27 - Plano de voo estabelecido para o Pix4D.....	51
Figura 28 - Configurações do voo do drone e obtenção das fotos no Pix4D	51
Figura 29 - Plano de voo e características definidas no DroneDeploy.....	52
Figura 30 - Características de voo pelo DroneDeploy	53
Figura 31 - Fluxo de Trabalho Agisoft Metashape: adicionar fotos	54
Figura 32 - Fluxo de Trabalho Agisoft Metashape: alinhar fotos.....	54
Figura 33 - Configurações para Alinhamento das Fotos no Agisoft Metashape.....	55
Figura 34 - Fluxo de Trabalho Agisoft Metashape: construção da nuvem densa.....	55
Figura 35 - Configurações para construção da nuvem densa no Agisoft Metashape	55
Figura 36 - Fluxo de Trabalho Agisoft Metashape: construir modelo.....	56
Figura 37 - Configurações para construção do modelo 3D no Agisoft Metashape	56
Figura 38 - Fluxo de Trabalho Agisoft Metashape: construir textura.....	57
Figura 39 - Configurações para construção da textura no Agisoft Metashape.....	57
Figura 40 - Fluxo de Trabalho Agisoft Metashape: construir textura.....	58
Figura 41 - Configurações para construção do ortomosaico no Agisoft Metashape	58
Figura 42 – Etapa de importação de fotos no Lightroom Classic.....	59
Figura 43 - Etapa de pré-seleção e importação de fotos no Lightroom Classic	59
Figura 44 - Etapa de mesclagem de fotos no Lightroom Classic.....	60
Figura 45 – Seleção do tipo de projeção para panorama no Lightroom Classic	60
Figura 46 - Importação de fotos no Kolor Autopano Giga.....	61

Figura 47 - Detecção de fotos e criação do panorama no Kolor Autopano Giga	61
Figura 48 – Realização de inspeção tradicional in loco	62
Figura 49 – Construção da nuvem esparsa “crua” no Processo 01	63
Figura 50 – Nuvem esparsa após limpeza de interferências do modelo no Processo 01	63
Figura 51 – Nuvem densa gerada no Processo 01	64
Figura 52 – Geração do modelo 3D no Processo 01	64
Figura 53 – Ortomosaico eixo esquerdo YZ no Processo 01	65
Figura 54 - Ortomosaico eixo frontal XZ no Processo 01	66
Figura 55 - Ortomosaico eixo posterior XZ no Processo 01	66
Figura 56 - Ortomosaico eixo direito YZ no Processo 01	67
Figura 57 - Construção da nuvem esparsa “crua” no Processo 02	68
Figura 58 - Nuvem esparsa após limpeza de interferências do modelo no Processo 02	68
Figura 59 - Nuvem densa gerada no Processo 02	69
Figura 60 - Geração do modelo 3D no Processo 02	69
Figura 61 – Panorama fachada frontal projeção cilíndrica no Lightroom Classic	70
Figura 62 - Panorama fachada lateral direita projeção perspectiva no Lightroom Classic ...	71
Figura 63 - Panorama fachada lateral esquerda projeção perspectiva no Lightroom Classic	71
Figura 64 - Panorama fachada traseira projeção cilíndrica no Lightroom Classic	72
Figura 65 - Panorama fachada frontal no Kolor	73
Figura 66 - Panorama fachada lateral direita no Kolor	73
Figura 67 - Panorama fachada lateral esquerda no Kolor	74
Figura 68 - Panorama fachada traseira no Kolor	74
Figura 69 - Resultado inspeção tradicional na fachada lateral direita	75
Figura 70 - Resultado inspeção tradicional na fachada lateral esquerda	75
Figura 71 - Resultado inspeção tradicional na fachada traseira	76
Figura 72 – Eflorescências na fachada frontal - máquina tradicional (esq.) e com drone (dir.)	77
Figura 73 – Eflorescência na fachada lateral esquerda (máquina tradicional)	78
Figura 74 – Eflorescência na fachada traseira - máquina tradicional (esq.) e com drone (dir.)	78
Figura 75 – Eflorescência no revestimento da fachada lateral esquerda	78
Figura 76 - Eflorescência na fachada lateral esquerda - máquina tradicional (esq.) e com drone (dir.)	79
Figura 77 – Sujidade na fachada lateral direita - máquina tradicional (esq.) e com drone (dir.)	79
Figura 78 - Sujidade na fachada lateral direita - máquina tradicional (esq.) e com drone (dir.)	79
Figura 79 – Revestimentos com fissuras na fachada frontal	80
Figura 80 – Dilatação térmica diferencial com ruptura da pintura na fachada lateral esquerda - máquina tradicional (esq.) e com drone (dir.)	80
Figura 81 – Sujidade e dilatação térmica diferencial na fachada lateral esquerda - máquina tradicional (esq.) e com drone (dir.)	81
Figura 82 - Fissuras horizontais na fachada lateral esquerda	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Agentes de degradação das construções.....	19
Tabela 2 - Programa de inspeção e suas etapas.....	29
Tabela 3 – Comparação entre os métodos de inspeção.....	77

LISTA DE SIGLAS

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DEM	Modelo Digital de Elevação
EN	Norma Europeia
GSD	<i>Ground Sample Distance</i>
GPS	Sistema de Posicionamento Global
HDR	<i>High Dynamic Range</i>
IBAPE	Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia
ICA	Instrução do Comando da Aeronáutica
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MDS	Modelos Digitais de Superfície
MDT	Modelos Digitais de Terreno
NBR	Norma Brasileira
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
RAB	Registro Aeronáutico Brasileiro
RETA	Responsabilidades do Explorador ou Transportador Aéreo
RGB	<i>Red-Green-Blue</i>
SARPAS	Sistema de Autorização para Acesso ao Espaço Aéreo por Aeronaves Não Tripuladas
SISCEAB	Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	PROBLEMA DE PESQUISA.....	15
3	JUSTIFICATIVA	16
4	OBJETIVOS	16
4.1	Objetivo Geral.....	16
4.2	Objetivos Específicos	16
5	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
5.1	Patologia das construções.....	17
5.1.1	Origem das patologias.....	18
5.1.2	Agentes de degradação.....	19
5.1.3	Desempenho	20
5.1.4	Durabilidade e vida útil	21
5.1.5	Manutenção	21
5.2	Principais patologias encontradas em fachadas	23
5.2.1	Eflorescência	23
5.2.2	Bolor	23
5.2.3	Vesículas	24
5.2.4	Empolamento.....	24
5.2.5	Descolamento de placas	25
5.2.6	Descolamento com pulverulência.....	26
5.2.7	Fissuras horizontais.....	26
5.2.8	Fissuras mapeadas	27
5.2.9	Fissuras geométricas.....	27
5.2.10	Dilatação térmica diferencial.....	28
5.3	Método de inspeção de fachadas	28
5.3.1	VANTs	30
5.4	Fotogrametria	32
5.4.1	GSD.....	33
5.4.2	Processamento de imagens	35
5.5	Ferramentas computacionais	37
5.5.1	<i>DJI GS Pro</i>	38
5.5.2	<i>Pix4D</i>	39
5.5.3	<i>DroneDeploy</i>	40
5.5.4	<i>Agisoft Metashape</i>	41

5.5.5	<i>Adobe Photoshop Lightroom Classic</i>	43
5.5.6	<i>Kolor Autopano Giga</i>	45
5.6	Diagnóstico e resolução de patologias	45
6	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	47
6.1	Apresentação da área de estudo	48
6.2	Aplicação dos métodos de inspeção – vistoria e uso de VANTs	48
6.3	Captura de imagens	49
6.3.1	<i>DJI GS Pro</i>	49
6.3.2	<i>Pix4D</i>	50
6.3.3	<i>DroneDeploy</i>	52
6.4	Processamento das imagens	53
6.4.1	<i>Agisoft Metashape</i>	53
6.4.2	<i>Adobe Photoshop Lightroom Classic</i>	58
6.4.3	<i>Kolor Autopano Giga</i>	60
6.5	Análise do modelo gerado e identificação de patologias	61
7	RESULTADOS E DISCUSSÕES	62
7.1	Captura de imagens	62
7.2	Processamento das imagens	63
7.2.1	<i>Agisoft Metashape</i> com imagens do <i>DJI GS Pro</i>	63
7.2.2	<i>Agisoft Metashape</i> com imagens do <i>DroneDeploy</i>	67
7.2.3	<i>Adobe Photoshop Lightroom Classic</i>	70
7.2.4	<i>Kolor Autopano Giga</i>	72
7.3	Inspeção tradicional <i>in loco</i>	74
7.4	Comparação entre os métodos de inspeção	76
7.5	Classificação das patologias	77
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
9	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	83
	REFERÊNCIAS	83
	ANEXO A – Cálculo de formação de preço do orçamento para aluguel de drone (adaptado de CallDrone, 2019)	88
	ANEXO B - Composição do valor da hora técnica básica para vistorias de engenharia (adaptado de Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia – IBAPE/SP, 2019)	89

1 INTRODUÇÃO

As fachadas são elementos constituintes de uma edificação e se apresentam como sendo de suma importância, pelo fato de permitir a transição entre os ambientes internos e externos. Sobre elas incidem diversas intempéries, como sol, chuva, vento e poeira; dessa forma, se tornam bem propícias a apresentarem patologias no seu revestimento.

Entende-se como patologia de uma construção, as “doenças” que a mesma apresenta. Souza e Ripper (1998) definem Patologia como o campo da Engenharia das Construções que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das edificações.

De acordo com Costa (2014), os sistemas de revestimentos de fachadas de edificações comumente são compostos por diferentes elementos, e alguns desses com valores de vida útil distintos. O desempenho dos sistemas de revestimentos está diretamente ligado à aderência e ao comportamento de cada camada aos esforços de natureza mecânica, física, biológica, química, das ações das intempéries ou até mesmo do decorrer do tempo. Além disso, sua eficiência é importante não somente pela estética, como também do ponto de vista técnico, pois a ocorrência de manifestações patológicas nos revestimentos pode ocasionar elevados prejuízos financeiros e afetar a integridade física das pessoas.

A adoção dos requisitos de durabilidade e execução para fachadas é feita através das Normas Brasileiras NBR 15575-4 (2013) e NBR 13755 (2017), respectivamente. A escolha dos materiais não deve ser feita apenas pela estética, formato e resistência, mas também por critérios de durabilidade, limpabilidade, manchamento, destacamento, e da sua compatibilização com os demais materiais do mesmo sistema. O atendimento aos padrões da norma durante a construção definirá a qualidade do edifício e das fachadas. Portanto, essas especificações serão fundamentais para a definição da vida útil estabelecida em projeto, reduzindo assim, a quantidade de patologias em fachadas.

Segundo Costa (2014), a metodologia preventiva utilizada para detectar os danos nas superfícies externas das fachadas de edificações são fundamentadas em dados obtidos *in loco* através de investigações diretas sobre a edificação e, depende do local e da dimensão da edificação.

Conforme Borges et al. (2017), com o desenvolvimento das tecnologias, o mapeamento de áreas e de edifícios passou a necessitar, cada vez menos, da mobilização de muitos profissionais e se tornou facilitada com o uso de drones e da fotogrametria. Fotogrametria é o levantamento da topografia local e da altimetria por meio de fotografias simultâneas, que permitem uma visão tridimensional quando observadas por meio de equipamento apropriado. Assim como a utilização dessa tecnologia já vem sendo aplicada à mapeamento de grandes áreas, também é possível aplicá-la a fachadas, com o intuito de mapeá-las e de identificar possíveis patologias.

Atualmente no mercado existem diversos *softwares* que permitem a realização da fotogrametria combinada aos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs). Através de uma programação de voo preestabelecida para o drone, define-se a quais altitudes e distâncias serão tiradas as fotos, posteriormente processadas para geração do modelo tridimensional. De acordo com Melo Júnior et al. (2018), o modelo gerado através do processamento das fotos são as ortoimagens, que são as representações de fachadas por projeção ortográfica. Elas permitem registrar as propriedades físicas dos materiais empregados na construção, as cores, as deformações, os danos e as manifestações patológicas; sendo assim, as ortoimagens representam o estado de conservação da fachada no instante da tomada fotográfica.

Nesse trabalho pretende-se analisar a eficiência da utilização desses *softwares* unidos aos VANTs para inspeção das fachadas de um edifício localizado na cidade de Palmas-TO, e compará-la ao método tradicional (método visual *in loco*). Busca-se também ponderar o programa e plano de voo que apresentam a melhor solução para tal situação.

2 PROBLEMA DE PESQUISA

As fachadas devem atender aos requisitos de desempenho e durabilidade impostos pela norma NBR 15575-4 (2013), no entanto, o ambiente a qual estão expostas e as condições de agressividade irão determinar o surgimento de manifestações patológicas.

Com o intuito de buscar meios tecnológicos que permitam a sua inspeção e substituam o método visual *in loco*, procura-se responder à seguinte questão: “Qual

a eficiência do uso de VANTs para mapeamento de fachadas e identificação de patologias em edifício localizado no município de Palmas - TO?”.

3 JUSTIFICATIVA

O surgimento de patologias em fachadas de edifícios é algo comum, devido aos processos de degradação de uma estrutura, das condições às quais ela está exposta e à sua qualidade de execução. Nesse sentido, faz-se necessário diagnosticá-las e mapear a extensão da fachada em que essas manifestações patológicas ocorrem. Existem inúmeros métodos capazes de realizar o monitoramento dos danos nas fachadas de edificações. Segundo Rodriguez-Navarro, Piqueras e Verdiani (2018), a contribuição fundamental dos drones para a arquitetura e engenharia é a capacidade de nos posicionar como espectadores em qualquer lugar que desejamos, permitindo experimentar novas perspectivas.

Ademais, Costa (2014) cita que, para as diferentes estruturas existentes, os métodos conhecidos apresentam algum tipo de restrição de aplicação como, por exemplo, a dificuldade de acesso às estruturas, dado pelas grandes alturas e necessidade do uso de andaimes ou rapel.

Dessa forma, as inovações tecnológicas, como o uso de VANTs, trazem praticidade para a inspeção de edifícios e se mostram como uma alternativa bastante viável, pois acarretam em menor risco para o operador, maior produtividade, melhores informações e possuem um custo competitivo.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho é analisar a eficiência do uso de VANTs para modelagem de fachadas de edifícios e identificação de possíveis patologias existentes, através do processamento das imagens obtidas pelos programas *Agisoft Metashape*, *Adobe Photoshop Lightroom Classic* e *Kolor Autopano Giga*.

4.2 Objetivos Específicos

- Modelagem tridimensional do edifício;
- Verificar o custo-benefício da captação de imagens pelo drone;
- Analisar as diferentes alternativas de *softwares* para aquisição das fotos;
- Estabelecer qual a melhor programação de voo do aparelho;
- Apurar a eficiência dos programas *Agisoft Metashape*, *Adobe Photoshop Lightroom Classic* e *Kolor Autopano Giga* para construção do modelo das fachadas;
- Classificar as patologias eventualmente identificadas.

5 REVISÃO DE LITERATURA

5.1 Patologia das construções

Patologia das construções pode ser definida como o estudo sistemático de doenças nas edificações com o objetivo de entender suas causas, sintomas e tratamentos (WATT, 2007), bem semelhante ao conceito de patologia estabelecido no contexto médico. Além disso, requer um conhecimento detalhado dos edifícios, como a forma como são projetados, construídos, usados e modificados; e os diversos mecanismos que podem afetar suas condições e materiais.

Segundo Souza e Ripper (1998), a importância de se estudar a patologia de edificações surge do fato de que ainda há sérias limitações ao livre desenvolvimento científico e tecnológico, o que gera inevitáveis falhas involuntárias e casos de imperícia. Quando confrontadas com as finalidades inicialmente propostas, as estruturas se apresentam com desempenho insatisfatório, sendo assim, esse estudo irá propor medidas corretivas e de recuperação para que a construção atinja seus requisitos de satisfação.

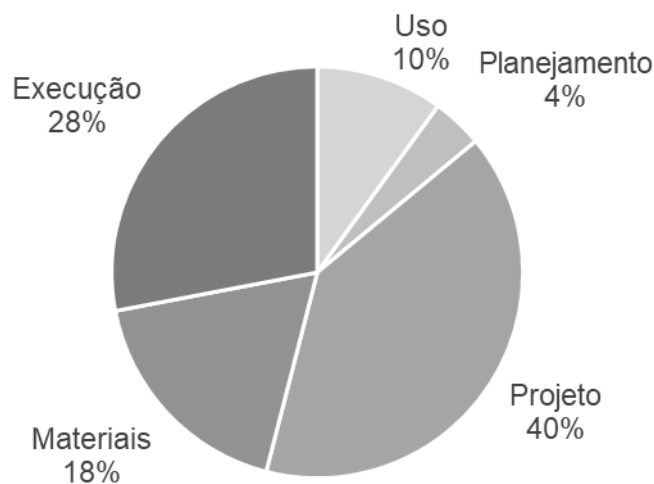
Patologias simples são aquelas que possibilitam uma certa padronização, podendo ser resolvidas sem que o profissional responsável tenha obrigatoriamente conhecimentos altamente especializados. Por outro lado, as manifestações patológicas consideradas complexas não podem ser tratadas com mecanismos de inspeção e manutenção convencionais, obrigando a uma análise específica do problema, e necessitando de um estudo mais aprofundado sobre o assunto (SOUZA; RIPPER, 1998).

Na grande parte dos casos, os problemas patológicos apresentam manifestação externa característica, a partir da qual pode-se deduzir a origem, natureza e os fenômenos envolvidos, além de estimar suas prováveis consequências (HELENE, 1993). Dessa forma, devem ser diagnosticadas e, conseqüentemente, corrigidas.

5.1.1 Origem das patologias

De acordo com Helene (1993), o processo de construção e uso de uma edificação consiste em cinco etapas, sendo elas: planejamento, projeto, fabricação de materiais e componentes do canteiro, execução e uso. Uma falha em cada uma delas pode ocasionar em patologias no edifício. Conforme analisado na Figura 1, as etapas de projeto e execução se sobressaem ao se tratarem como origem dos problemas patológicos, mostrando a importância de se dedicar mais tempo para detalhamento de projeto e de não se tomar decisões precipitadas durante a execução.

Figura 1 - Origem das manifestações patológicas relativas às etapas de produção e uso de obras civis.



Fonte: Adaptado de Helene (1993).

Helene (1993) cita ainda que, as patologias só surgirão após a execução propriamente dita da obra e normalmente ocorrem com maior incidência na etapa de uso, etapa esta de longo período, com geralmente mais de cinquenta anos para edificações. É muito comum problemas oriundos da fase de execução só se manifestarem anos depois da utilização da edificação.

Já Pedro et al. (2002), abordam a origem das patologias classificando-as da seguinte forma: congênitas (originárias da fase de projeto), construtivas (ocorrem na fase de execução), adquiridas (decorrem do uso da edificação, resultante da exposição do meio) e acidentais (relativas a algum fenômeno atípico).

5.1.2 Agentes de degradação

Souza e Ripper (1998) abordam que cada material ou componente reage de uma forma específica aos agentes de degradação aos quais se é submetido, explicando que a forma e velocidade de deterioração irá ocorrer em função da natureza do material ou componente, e das condições de exposição a esses agentes.

A NBR 15575-1 (2013, p. 6) define agente de degradação como “tudo aquilo que age sobre um sistema, contribuindo para reduzir o seu desempenho”. A classificação de agentes ou mecanismos que afetam os edifícios é bastante complexa, pois depende muito das condições particulares dentro e fora do edifício e do uso ao qual ele se destina (WATT, 2007). Além disso, de acordo com a *International Organization for Standardization* ISO 15686-2 (2012), os agentes de degradação podem se apresentar de natureza mecânica, eletromagnética, térmica, química ou biológica, conforme apontado na Tabela 1.

Tabela 1 - Agentes de degradação das construções.

Natureza	Classe
Agentes Mecânicos	Gravidade
	Forças e deformações impostas ou restringidas
	Energia cinética
	Vibrações e ruídos
Agentes Eletromagnéticos	Radiação
	Eletricidade
	Magnetismo
Agentes Térmicos	Níveis extremos ou variações rápidas de temperatura
Agentes Químicos	Água e solventes
	Agentes oxidantes
	Agentes redutores
	Ácidos
	Bases
	Sais
	Quimicamente neutros
Agentes Biológicos	Vegetais e microrganismos
	Animais

Fonte: ISO 15686-2 (2012).

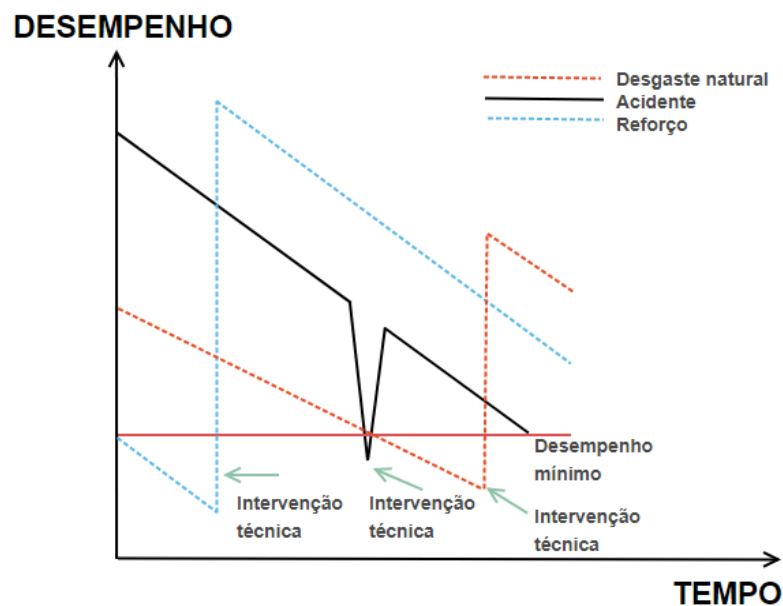
5.1.3 Desempenho

Entende-se desempenho como o comportamento de funcionamento de um determinado produto ao longo de sua vida útil (SOUZA; RIPPER, 1998). Sua grandeza relativa sempre representará o resultado do trabalho desenvolvido nas etapas de projeto, construção e manutenção do edifício. Segundo Nepomuceno (2000), os requisitos dos usuários são assumidos como o conjunto de necessidades a serem atingidas pelo edifício, a fim de que ele exerça sua função.

A referência normativa que trata dos requisitos gerais de desempenho é a NBR 15575-1 (2013) e as especificações abordadas nela dizem respeito especificamente às edificações de uso habitacional, exigindo que, para outros tipos de obras, haja a necessidade de demanda de normalização técnica.

Souza e Ripper (1998) citam que, em muitos casos, as estruturas sofrem degradação mesmo quando existe um plano de manutenção estabelecido. Além disso, o fato de uma estrutura apresentar em determinado momento um desempenho insatisfatório, não significa necessariamente que ela esteja condenada. Em diversas circunstâncias, o que a ocasião requer é uma intervenção técnica imediata, de modo que sua reabilitação seja possível. A situação ideal seria a de desenvolver o projeto de forma que a construção seja bem feita e a manutenção facilitada, proporcionando níveis mínimos de deterioração. A Figura 2 trata dos diferentes desempenhos que uma estrutura pode apresentar em função de fenômenos patológicos distintos.

Figura 2 - Diferentes desempenhos de uma estrutura.



Fonte: Adaptado de Souza e Ripper (1998).

5.1.4 Durabilidade e vida útil

De acordo com Souza e Ripper (1998), é fundamental a associação dos conceitos de vida útil e durabilidade. Conhecidas ou estimadas as características de degradação do material e dos sistemas estruturais, entende-se como durabilidade o parâmetro que relaciona a aplicação destas características a uma determinada construção, individualizando-a pela avaliação da resposta que dará aos efeitos da agressividade ambiental, e definindo, então, a vida útil da mesma.

A NBR 15575-1 (2013, p.7) conceitua durabilidade como a capacidade da edificação ou de seus sistemas de exercer suas funções ao longo do tempo e sob condições de uso e manutenção. Nesse sentido, traz também como significado de vida útil o período de tempo em que um edifício se presta à atividade para qual foi projetado, com atendimento dos níveis de desempenho.

Segundo o Eurocódigo EN 1992-1-1 (2004), na intenção de se alcançar a vida útil de projeto necessária da edificação, medidas adequadas devem ser tomadas para proteger cada elemento estrutural contra as ações ambientais relevantes. Os requisitos de durabilidade são atendidos quando se considera os itens de:

- Concepção estrutural;
- Seleção de material;
- Detalhes construtivos;
- Execução;
- Controle de qualidade;
- Inspeção;
- Verificações;
- Medidas especiais (por exemplo, uso de aço inoxidável, revestimentos, proteção catódica).

5.1.5 Manutenção

A manutenção remete ao conjunto de atividades desenvolvidas, com a finalidade de manter o edifício com suas devidas propriedades de segurança, estética e funcionalidade previstas (NEPOMUCENO, 2000). Sendo assim, é o conjunto de

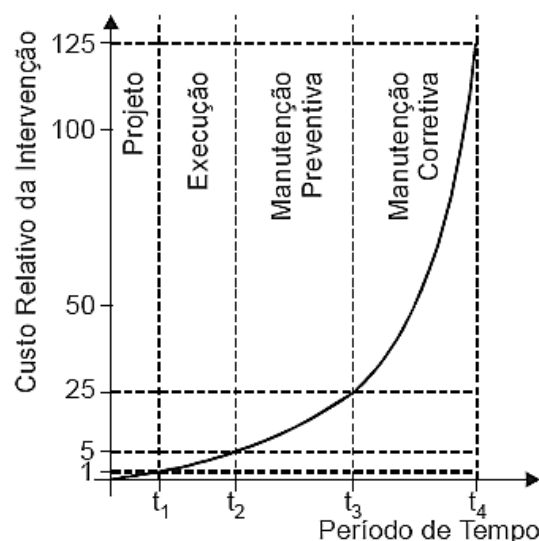
atividades realizadas com o objetivo de garantir o desempenho satisfatório de determinada construção.

Segundo Souza e Ripper (1998), um bom programa de manutenção implica em definição de metodologias adequadas de operação, controle e execução da obra, e na análise custo-benefício desta manutenção.

Ela pode ser classificada em manutenção preventiva e manutenção corretiva (HELENE, 1993), sendo a primeira tomada com antecedência e previsão durante o período de uso e manutenção do edifício; enquanto a corretiva faz relação aos trabalhos de diagnóstico, prognóstico, reparo e proteção das estruturas que já apresentam problemas patológicos, sendo, portanto, a correção de problemas evidentes.

Helene (1993) cita ainda a Regra de Sitter, que representa a lei de evolução dos custos, apontando que os custos crescem de acordo com uma progressão geométrica de razão cinco. As etapas construtivas são divididas em quatro: projeto, execução, manutenção preventiva e manutenção corretiva. O gráfico, proposto na Figura 3, sugere que cada etapa multiplica em cinco vezes o custo da anterior, sendo assim, tomando como base a etapa de projeto, um custo relativo à intervenção realizado na fase de execução custará cinco vezes mais que se o erro tivesse sido identificado anteriormente, enquanto uma manutenção preventiva custará vinte e cinco vezes mais cara; e a manutenção corretiva se dará com preço cento e vinte e cinco vezes superior à primeira etapa.

Figura 3 - Lei de evolução dos custos (Regra de Sitter).



Fonte: Helene (1993).

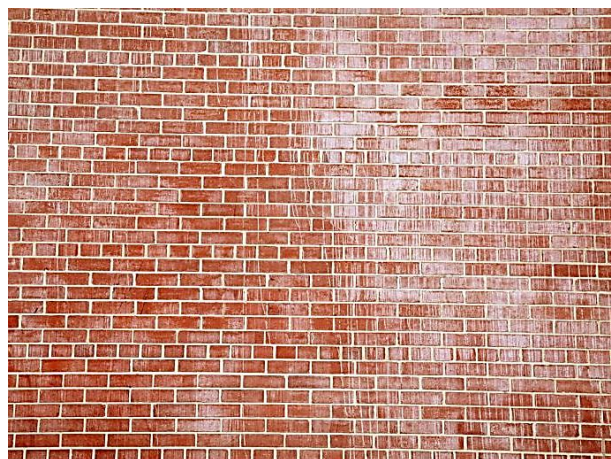
5.2 Principais patologias encontradas em fachadas

De acordo com Freitas, França e França (2013), as patologias encontradas nos revestimentos de fachadas se manifestam de formas distintas e resultam na inviabilidade de execução dos objetivos para os quais foram projetadas, principalmente no que se refere à estética, isolamento e proteção. Dessa forma, são apresentadas como principais manifestações patológicas: eflorescência, bolor, vesículas, empolamento, deslocamento de placas, deslocamento com pulverulência, fissuras horizontais, fissuras mapeadas e fissuras geométricas.

5.2.1 Eflorescência

De acordo com Chaves (2009), a eflorescência é a patologia apresentada por manchas brancas na superfície do revestimento, dada pelo aparecimento de depósitos cristalinos. São causadas pelo transporte de sais solúveis pelos poros do revestimento, que solidificam quando entram em contato com o ar. A quantidade de água, o tempo de contato, a temperatura e porosidade influenciam no aparecimento dessa patologia.

Figura 4 - Eflorescências em revestimento cerâmico



Fonte: Site BlogEquiloc (2019).

5.2.2 Bolor

Constitui-se em manchas esverdeadas ou escuras, além da desagregação do revestimento. Ocasionalmente devido à umidade constante ou falta de exposição ao sol (FREITAS; FRANÇA; FRANÇA, 2013).

Figura 5 - Bolor em revestimento



Fonte: Freitas, França e França (2013).

5.2.3 Vesículas

Trata-se do empolamento que acontece nas pinturas, apresentando as partes internas nas cores branca e preta vermelho acastanhado. Além disso, são observadas bolhas contendo umidade no interior. Tem como causa principal a hidratação tardia do óxido de magnésio da cal, aplicação prematura de tinta impermeável e infiltração de umidade (CINCOTTO; SILVA; CARASEK, 1995 apud FERREIRA; SILVA; CARVALHO JUNIOR, 2010).

Figura 6 - Vesículas no revestimento



Fonte: Freitas, França e França (2013).

5.2.4 Empolamento

A patologia de empolamento consiste no aparecimento de bolhas no revestimento de pintura, devido à perda de adesão localizada (CHAVES, 2009). Normalmente ela aparece devido a fatores como: excesso de umidade, sistema de pintura inadequados, tempo insuficiente entre demãos, presença de componentes solúveis em água, condições de aplicação desfavoráveis e métodos de aplicação incompatíveis com o produto a aplicar.

Figura 7 - Empolamento



Fonte: Santos (2016).

5.2.5 Descolamento de placas

Quando a patologia é representada pela placa endurecida e quebradiça, ocorre devido à superfície de contato com a camada inferior apresentar o uso de argamassa muito rica em cimento ou muito espessa (FREITAS; FRANÇA; FRANÇA, 2013). Por outro lado, quando a placa se apresenta de forma quebradiça e se desagrega com facilidade, ocorre devido a utilização de argamassa magra e ausência da camada de chapisco.

De acordo com Chaves (2009), o deslocamento pode ser localizado ou generalizado. O descolamento localizado ocorre quando se está diante de defeitos decorrentes da aplicação ou do suporte. Já o generalizado está normalmente associado à elevada expansão das placas, falta de qualidade do material de colagem, aplicação deficiente ou à incompatibilidade entre as várias camadas do sistema.

Figura 8 - Descolamento de placas cerâmicas



Fonte: Chaves (2009).

5.2.6 Descolamento com pulverulência

Segundo Cincotto, Silva e Carasek (1995) apud Ferreira, Silva e Carvalho Junior (2010), é quando a película de tinta se descola arrastando o reboco, fazendo com que este se desintegre com facilidade e apresente som cavo. Acontece devido ao excesso de finos nos agregados, argamassa magra, muito espessa ou rica em cal e ausência de carbonatação da cal.

Figura 9 - Descolamento de revestimento com pulverulência



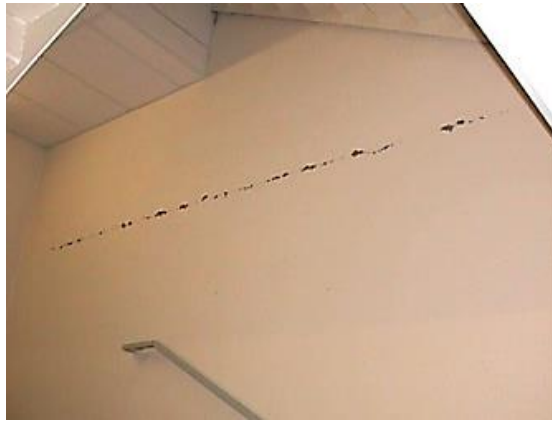
Fonte: Adaptado de Segat (2015).

5.2.7 Fissuras horizontais

Se manifestam ao longo de toda a parede com aberturas ou deslocamento do revestimento em placas (FREITAS; FRANÇA; FRANÇA, 2013). Apresentam como

principal causa a expansão da argamassa de assentamento por hidratação tardia do óxido de magnésio da cal, pela reação do cimento com o sulfato ou devido a presença de argilominerais expansivos.

Figura 10 - Fissuras horizontais



Fonte: Freitas, França e França (2013).

5.2.8 Fissuras mapeadas

Patologia que se distribui sobre toda a superfície do revestimento em uma camada contínua, pode ocorrer deslocamento em placas e caracteriza-se também pela fácil desagregação (CINCOTTO; SILVA; CARASEK, 1995 apud FERREIRA; SILVA; CARVALHO JUNIOR, 2010). Sua principal causa é a retração da argamassa por excesso de finos de agregados, cimento como único aglomerante e água de amassamento.

Figura 11 - Fissuras mapeadas

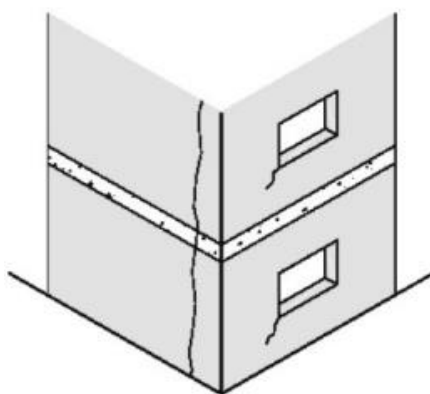


Fonte: Oliveira (2016).

5.2.9 Fissuras geométricas

De acordo com Freitas, França e França (2013), são fissuras que acompanham o contorno da alvenaria devido a reparação da argamassa de assentamento por excesso de cimento ou de finos no agregado, além da movimentação higrotérmica do componente.

Figura 12 - Fissuras geométricas em revestimentos



Fonte: Freitas, França e França (2013).

5.2.10 Dilatação térmica diferencial

De acordo com Casotti (2007), a contração e dilatação térmica estão presentes em todos os materiais da construção civil, sendo que essas características oscilam de acordo com a diminuição ou aumento da temperatura. Seguindo essa linha, Bueno (2000), aborda que, com o aumento da temperatura as argamassas tendem a se dilatar, acontecendo o inverso com as baixas temperaturas. Além disso, estudos indicam que em grandes variações de temperatura num mesmo dia, a dilatação em revestimentos externos argamassados chega a 0,01mm por metro linear para cada grau centígrado. Por este motivo, os revestimentos externos confeccionados por argamassas sofrem violentas movimentações de dilatação e contração o que causa trincas, infiltração e até mesmo arrastamento dos sistemas de reboco e pintura.

5.3 Método de inspeção de fachadas

A inspeção inicial de um edifício, assim como de uma fachada, é sempre de grande importância para identificação de patologias. Ela dará um "pressentimento" sobre a estrutura e sua condição, e ajudará a organização detalhada da avaliação

(MACDONALD, 2003). Notas, esboços e fotografias são ferramentas de grandioso auxílio. Além disso, alguns problemas podem ser facilmente evidenciados, informando o planejamento do trabalho.

De acordo com Watt (2007), a inspeção se baseará nas habilidades de observação e julgamento de um avaliador, com conhecimento de treinamento e na continuidade do desenvolvimento profissional, experiência prática, familiaridade com o tipo de propriedade ou defeito específico, e uma mente investigadora. O inspetor deve ser competente o suficiente para executar o serviço necessário e esclarecer quanto ao objetivo da inspeção. Para realização de uma perícia é essencial que se haja instruções explícitas, breves e uma documentação que comprove.

Segundo Lopes (2000), para se facilitar os procedimentos na realização da inspeção nas edificações, pode-se utilizar um programa baseado em cinco etapas (Tabela 2), seguindo o cronograma de: histórico, planejamento, inspeção geral, inspeção detalhada, processamento de informações e resultados.

Tabela 2 - Programa de inspeção e suas etapas

ETAPA	OBJETIVOS	OPERAÇÕES
Histórico	Obter informações importantes sobre a edificação, efeitos climáticos e do meio ambiente no qual está inserido, para auxílio nas demais etapas da inspeção, notadamente no planejamento.	- Pesquisar dados históricos sobre projeto, execução, operação, uso e manutenção da edificação - Pesquisar dados regionais sobre o clima, atmosfera, micro e meio ambiente
Planejamento	Estabelecer, com base na análise das informações obtidas na fase anterior, um plano de inspeção, de forma eficiente, e otimizando todos recursos disponíveis. Dividir a edificação em blocos, níveis, etc., e elaborar um cronograma de inspeção com detalhamento.	- Analisar dados históricos, resultados de testes e ensaios - Estabelecer cronograma - Definir todos os materiais e equipamentos a serem utilizados na inspeção
Inspeção geral	Estudar e entender o funcionamento da edificação. Selecionar áreas para a inspeção detalhada. Determinar técnicas de medição mais apropriadas.	- Inspeção visual - Documentação fotográfica - Ensaios não destrutivos - Medições
Inspeção detalhada	Levantar informações minuciosas dos danos que acometem os componentes, de modo a possibilitar diagnósticos precisos.	- Selecionar amostras - Ensaios físicos/químicos - Ensaios destrutivos
Processamento de informações e resultados	Com base nos dados coletados, processar a avaliação da edificação, considerando todos os seus componentes, inclusive a estrutura, sob o ponto de vista da deterioração.	- Análise da deterioração - Pesquisa complementar - Análise complementar - Diagnóstico e prognóstico

Fonte: Lopes (2000).

No método convencional de inspeção de fachadas, utiliza-se a inspeção visual *in loco* e fotografias obtidas pelo avaliador e, conseqüentemente, é realizado um relatório escrito. O objetivo do relatório é reunir todas as informações relevantes

derivadas da visita preliminar ao local, pesquisa de fundo e inspeção (WATT, 2007). Deve-se, também, considerar cuidadosamente o que foi visto durante a inspeção e as consequências para o cliente. Sendo assim, as opções precisam ser consideradas e avaliadas, variando desde medidas simples até reparos ou substituições complexas.

Atualmente, existem diversos métodos capazes de realizar o monitoramento de danos nas faces externas das edificações. Devido aos diferentes tipos de estruturas existentes, alguns desses meios apresentam restrições quanto à sua aplicação, como é o caso de locais de difícil acesso, o que se faz necessário o registro fotográfico (COSTA, 2014). Esse registro pode ser realizado por meio de imagens panorâmicas de alta resolução, como resultado da composição de mosaicos de imagens geradas por um conjunto de uma câmera digital padrão e uma de grande distância focal, vinculadas a uma plataforma robótica fotográfica.

De acordo com Eschmann et al. (2012), o método de inspeção visual utilizando VANTs é dividido em duas etapas: aquisição dos dados ou fotos (por inspeção aérea) e um processamento digital (pós voo). Dessa forma, posteriormente à tirada das fotos, a imagem panorâmica é gerada com o auxílio de ferramentas computacionais, o que possibilita, de forma prática e eficiente, o reconhecimento das patologias desenvolvidas nas fachadas dos edifícios (COSTA, 2014).

5.3.1 VANTs

Segundo Rodriguez-Navarro, Piqueras e Verdiani (2018), nos últimos anos, melhorias no *software* de pilotagem automática de VANTs, abriram novas perspectivas para o uso de fotografia e vídeo aéreo.

Surgindo da premissa da construção de aviações não tripuladas, conforme Rejado (2015), essa ideia já era anterior à própria tentativa de se desenvolver aeronaves tripuladas na primeira metade do século XIX. O termo Veículo Aéreo Não Tripulado tornou-se comum nos anos 90 para descrever aeronaves robóticas e substituiu o termo Veículo Pilotado Remotamente, muito utilizado na guerra do Vietnã.

De acordo com Nicholas (2018), com a comercialização do uso de drones, as autoridades governamentais, de segurança e de aviação em todo o mundo promulgaram leis, regras, padrões e diretrizes sobre o uso dessa tecnologia; para fins de segurança pública. Isso significa que o processo de aquisição, obtenção de autorização e certificações é monitorado de perto. As regras fornecem quais locais os

VANTs estão permitidos para voar, qual peso e tamanho de drones são necessários para tarefas específicas.

No Brasil, o órgão que regula as normas de uso de drones é o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), órgão central do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB).

A Instrução do Comando da Aeronáutica ICA 100-40 (2018), proposta pelo DECEA, orienta sobre “Aeronaves não tripuladas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro”. Nesta instrução é abordado que, para Aeronaves Não Tripuladas com peso máximo de decolagem entre 250g e até 25Kg, em operações com alturas consideradas muito baixas (realizadas até 400 pés, aproximadamente 120 metros), alguns condicionantes são precisos para as operações, como sua projeção vertical no solo estar afastada a uma distância de pelo menos 30 metros de edificações, estruturas, patrimônios, animais e pessoas não anuentes, além de não voar sobre áreas povoadas e aglomeração de pessoas.

A ICA 100-40 (2018) cita ainda o Princípio da Sombra, no qual a porção de espaço aéreo em torno de uma estrutura ou obstáculo, artificial ou natural, está limitada verticalmente a 5 metros acima da altura da estrutura ou do obstáculo e afastado horizontalmente até 30 metros deste.

De acordo com a Lei nº 11.182/05, a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) é designada como a Autoridade de Aviação Civil competente para emissão do Certificado de Aeronavegabilidade. Além disso, cabe a ela administrar o Registro Aeronáutico Brasileiro (RAB), com as funções de efetuar o registro de aeronaves, bem como de emitir certificados de matrícula. Depois de cumpridas todas as etapas de certificação e habilitação/emissão da respectiva documentação pela autoridade reguladora, a solicitação para o acesso ao Espaço Aéreo deverá ser feita por intermédio do Sistema de Autorização para Acesso ao Espaço Aéreo por Aeronaves Não Tripuladas (SARPAS).

A ANAC regula ainda que, toda aeronave, incluindo-se os drones, devem possuir o seguro RETA obrigatório, que significa “Responsabilidades do Explorador ou Transportador Aéreo”. Este seguro garante danos pessoais e/ou materiais aos passageiros, tripulantes e suas bagagens, a terceiros no solo e a outras aeronaves, no caso de abalroamento ou colisão. É vinculado ao operador e ao número de série da aeronave, sendo pessoal e intransferível.

Segundo Romero (2016), a tecnologia proveniente dos drones pode reduzir riscos, aumentar o tempo de resposta e aprimorar a eficiência e a segurança nas áreas demarcadas para mapeamento, usando dados móveis e combinação de *software* de sistema de informações geográficas, sistemas de posicionamento global (GPS) e dispositivos de computação móvel.

As possibilidades de vídeo e fotografia para promoção, divulgação e monitoramento na construção são bem conhecidas, incorporando agora uma nova atração com a capacidade de escolher pontos de vista diferentes dos habituais (RODRIGUEZ-NAVARRO; PIQUERAS; VERDIANI, 2018). Além disso, com a inclusão de um scanner, os problemas associados à obtenção de dados em locais de difícil acesso são resolvidos. Nesse sentido, as fotografias tiradas com os drones estão representando uma contribuição muito grande para a pesquisa arquitetônica tridimensional, graças à coincidência com a maturidade e o avanço dos sistemas fotogramétricos baseados nos processos de visão por máquina. Assim como a fotogrametria parecia ultrapassada pelos sistemas de medição ativos, ela retornou fortemente à frente dos sistemas mais lucrativos para documentar a arquitetura.

5.4 Fotogrametria

De acordo com Amorim (2012), a fotogrametria original visa obter a forma e as dimensões de objetos tridimensionais a partir de fotografias. O processo fotogramétrico seria o inverso da fotografia, que faz a projeção de um objeto 3D no plano de uma imagem 2D. Dessa forma, a restituição fotogramétrica significa a reconstituição da forma e dimensões no espaço tridimensional do objeto real, a partir de suas imagens fotográficas.

Pode-se citar como exemplo da geração de modelos 3D utilizando fotogrametria (REISS, 2002, p.1 apud LEITE, 2019):

- Restituição de fachadas de edificações com a finalidade de controle de deformações;
- Restituição de monumentos históricos e sítios arqueológicos com finalidades de documentação, preservação e restauração;
- Modelagem digital de peças industriais para controle de qualidade;
- Mapeamento digital de rodovias e arruamentos através de sistemas transportados por veículos automotores;

- Restituição de superfícies anatômicas, principalmente na área biomédica;
- Reconstrução de objetos e elementos anatômicos com aplicações cinematográficas;
- Restituição de paisagens para estudos ambientais.

No campo da arquitetura, mais especificamente, no levantamento arquitetônico, a nova possibilidade de se obter vistas fotográficas até pouco tempo impensáveis coincidiu com outro avanço no campo da fotogrametria: a descoberta de novos algoritmos que automatizaram o processo 3D de modelagem de fotos, que permite obter modelos 3D muito confiáveis e texturas foto realistas com base em uma sequência fotográfica (RODRIGUEZ-NAVARRO; PIQUERAS; VERDIANI, 2018).

A fotogrametria digital, fase atual da fotogrametria, possui a simplificação dos processos como um dos princípios devido ao alto grau de automação e a redução dos custos pela não necessidade de instrumentos fotogramétricos, pois estes foram substituídos por computadores (AMORIM, 2012).

5.4.1 GSD

Na fotogrametria, para captação das fotos e mapeamento aéreo, é necessário entender o conceito de GSD (*Ground Sample Distance*), que remete à concepção de escala de um voo digital, ou seja, a relação entre um objeto no mundo real e sua representação em determinado formato. Sendo *pixel* a menor unidade de uma imagem digital, o GSD é a representação do *pixel* da imagem em unidades de terreno, e é geralmente dada em cm (PIX4D, 2019), conforme visualizado na Figura 13. Como exemplificação, uma ortofoto com 5 cm/*pixel* significa que cada *pixel* corresponde a 5 cm do terreno, 10 cm/*pixel* equivalem a 1 *pixel* por 10 cm do terreno, e assim sucessivamente.

Figura 13 - Exemplo de variações de resultados para o GSD

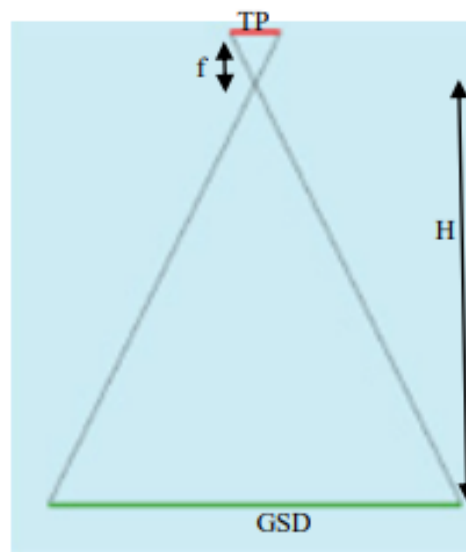


Fonte: Site Horus Aeronaves (2018).

De acordo com Silva Neto (2016), na aerofotogrametria, o GSD é uma das variáveis mais importantes e é a primeira que deverá ser definida, pois ela irá garantir o nível de detalhamento. A escolha do GSD influencia diretamente na nitidez do mapeamento realizado e na sua capacidade de mapeamento, pois, para aumentar o nível de detalhamento deve-se sobrevoar em uma altura menor, o que fará com que uma menor porção do terreno seja coberta e, conseqüentemente, uma menor área seja mapeada. Dessa forma, o tamanho do GSD se mostra inversamente proporcional ao nível de detalhamento.

Segundo Santos (2014), para calcular o GSD deve-se considerar os seguintes elementos: tamanho do pixel (Tp), distância focal da câmera (f) e altura de voo (H). Levando em conta que a distância focal da câmera é a distância entre o sensor e o centro óptico da câmera e a altura de voo é a distância entre o sensor e a superfície física da Terra, temos abaixo, ilustrado na Figura 14:

Figura 14 - Cálculo do GSD



Fonte: Santos (2014).

Dessa forma, por semelhança de triângulos, o GSD é calculado conforme as Equações 1 e 2:

$$\frac{GSD}{Tp} = \frac{H}{f} \quad \text{(Equação 1)}$$

$$GSD = \frac{Tp}{f} \cdot H \quad \text{(Equação 2)}$$

5.4.2 Processamento de imagens

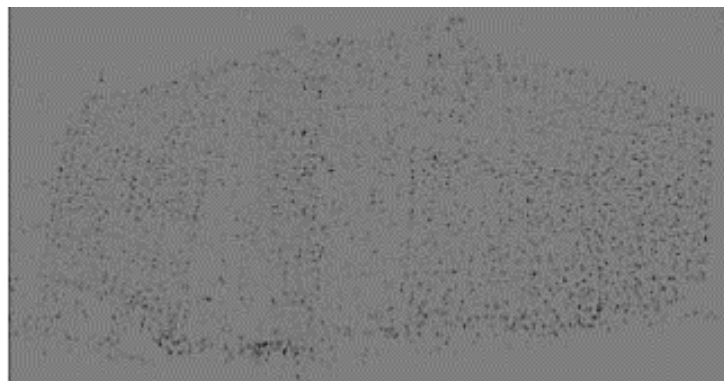
Conforme citado por Eschmann et al. (2012), após a conclusão do levantamento aéreo, o segundo passo é o pós-processamento digital das imagens selecionadas da primeira etapa.

Koutsoudis et al. (2014) citam que, depois que o usuário fornece ao *software* uma coleção de imagens, o sistema calibra quase automaticamente as câmeras com base nas informações encontradas nas imagens, alinha-as no espaço 3D e produz uma malha tridimensional completa e única usando um algoritmo de reconstrução de visualização múltipla densa. O *software* oferece vários níveis de detalhes de reconstrução 3D predefinidos. O nível de detalhes afeta a densidade da malha reconstruída.

Segundo Melo Júnior et al. (2018), os produtos fotogramétricos são resultantes das seguintes etapas de processamento: nuvem de pontos esparsa, nuvem de pontos densa e construção da malha (*mesh*).

No processamento das imagens, o comando de alinhamento de fotos tenta reconhecer a posição dos mesmos pontos nas diferentes fotos sobrepostas. Isso permite calcular a posição e a orientação das fotos e, por sua vez, criar a nuvem de pontos esparsa (Figura 15) ou de baixa densidade (TAVANI ET AL., 2014).

Figura 15 - Nuvem de pontos esparsa



Fonte: Melo Júnior et al. (2018).

No final do procedimento, o *software* indica as fotos que foram alinhadas e as que não foram, com alinhamentos errados sendo reconhecíveis pelo posicionamento irrealista das fotos. Dessa forma, o alinhamento pode ser melhorado de três formas:

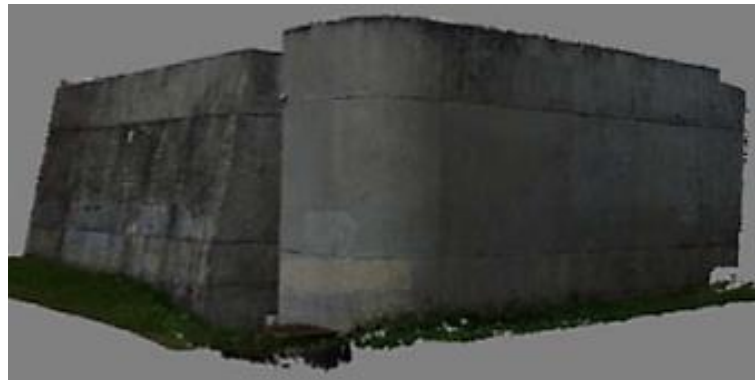
- evitando o uso de fotos tiradas com distâncias focais muito diferentes;

- indicando manualmente o mesmo ponto nas diferentes fotos;
- removendo fotos que não podem ser alinhadas com sucesso.

Melo Júnior et al. (2018) citam que, além de ser necessária a sobreposição das fotografias, é importante que as superfícies apresentem texturas aleatórias (sem padrões repetitivos ou coloração uniforme), pois os padrões repetitivos dificultam a busca por pontos correspondentes em fotografias, assim como as superfícies espelhadas, pois refletem quaisquer padrões do seu entorno, fazendo com que um padrão possa aparecer em uma imagem e não aparecer em outra imagem.

Finalizada a etapa de construção da nuvem de pontos esparsa, há a transformação desses dados em uma nuvem de pontos densa (Figura 16), na qual, a maioria dos detalhes geométricos do objeto é construída (VERHOEVEN, 2011 apud MELO JÚNIOR ET AL, 2018).

Figura 16 - Nuvem densa



Fonte: Melo Júnior et al. (2018).

De acordo com Tavani et al. (2014), o passo subsequente da "geometria da construção" triangula a nuvem de pontos obtida e retorna uma malha composta de triângulos irregulares, também chamada de *Mesh*.

Mesh é a forma mais comum para representar um modelo de superfície, que se caracteriza por um arranjo espacial de polígonos adjacentes, compartilhando arestas da superfície de fronteira do objeto (KOUTSOUDIS ET AL., 2014). Os requisitos de memória para o alinhamento da foto e as etapas da geometria da construção dependem do hardware e do número de fotos.

Finalizada a geração do modelo 3D, é possível obter-se as ortoimagens. Segundo Melo Júnior et al. (2018), a ortorretificação digital é o processo realizado por algoritmos computacionais que reposicionam cada pixel da imagem de acordo com a

projeção ortogonal de cada um deles, gerando o ortomosaico digital a partir dos modelos geométricos.

Sendo assim, ortomosaico digital refere-se à técnica de obtenção de um conjunto de fotos e imagens digitais em escala aproximada da superfície, de uma determinada região ou de um determinado espaço que, depois processadas e montadas por meio de um *software*, dão a impressão de que todo o conjunto de imagens é uma única fotografia (PRUDKIN, 2019).

Melo Júnior et al. (2018) apontam que, para a exportação da ortoimagem, faz-se necessário o conhecimento da orientação externa absoluta, sendo esta a correção da escala do modelo para a escala natural e da rotação do modelo nos eixos X, Y e Z, a partir de dimensões tomadas sobre o objeto real e dos eixos cartesianos do modelo.

Figura 17 - Comparações entre fotografia tirada da fachada de edifício, modelo geométrico formado e ortoimagem



Fonte: Groetelaars (2004) apud Melo Júnior et al. (2018).

5.5 Ferramentas computacionais

Para captação e processamento das imagens, normalmente são necessários 2 *softwares*, um para cada função. Atualmente no mercado existem ferramentas computacionais que realizam os dois processos, o que muitas vezes, simplifica a metodologia, no entanto, ao se fazer as duas etapas com programas diferentes, o usuário pode ter um maior controle do que está sendo feito e acompanhar passo a passo.

Como exemplo de *softwares* que realizam tanto a função de captar as imagens como de processá-las, tem-se: *DJI GS Pro*, *Pix4D* e *DroneDeploy*. Já se tratando de programas que permitem apenas a modelagem e edição das fotos, são

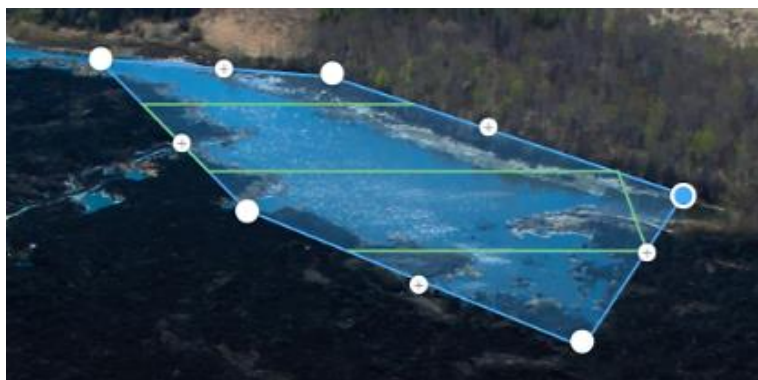
apresentados o *Agisoft Metashape*, que possibilita uma modelagem tridimensional, e o *Adobe Photoshop Lightroom Classic* e o *Kolor Autopano Giga*, designados como editor de fotos.

5.5.1 DJI GS Pro

O *DJI GS Pro* é um aplicativo para programação de voo de drones. Permite tanto a captação de imagens, como o seu processamento. Utilizado para controlar ou planejar voos automáticos para aeronaves *DJI*, com o objetivo de gerar dados digitais do terreno ou de estruturas. De acordo com a *DJI* (2019), o *GS Pro* obtém automaticamente fotos em pontos de referência predefinidos, fornecendo a precisão necessária para o mapeamento.

Além disso, o programa gera automaticamente rotas de voo eficientes depois que o usuário define sua zona de voo e parâmetros de câmera necessários (Figura 18).

Figura 18 - Rota de voo gerada pelo *DJI GS Pro*



Fonte: Site da *DJI* (2019).

Conforme o manual do usuário do próprio programa apresenta, o VANT segue essa rota ao longo de sua programação e as imagens obtidas podem ser inseridas e selecionadas na própria ferramenta para composição do mapa. A missão em si também pode ser salva para posterior reutilização.

Segundo a *DJI* (2019) explicita em seu site, a geração de modelos tridimensionais na sua plataforma exige uma assinatura mensal. Se caracteriza por ser uma ótima opção na coleta de dados críticos de estruturas, principalmente para medir torres altas. O programa apresenta configurações especiais para esse modo e, após coletadas as imagens, elas podem ser lançadas na plataforma que, em questão

de minutos, devolvem o modelo tridimensional. Não permite ao usuário que se tenha controle sobre o processamento dos dados, no entanto, permite a formação de modelos de forma bem rápida, pelo fato de as fotos serem processadas na plataforma por equipamentos de alta eficiência.

5.5.2 Pix4D

O programa *Pix4DCapture* é um aplicativo de voo automatizado desenvolvido pela *Pix4D*. Também apresenta as funções de obtenção de imagens e posterior processamento.

Segundo a *Pix4D* (2019), a plataforma transforma um drone em uma ferramenta com cinco modos de mapeamento, podendo fazer voos de estruturas 3D, voo livre e mapeamento aéreo. Nesse sentido, o aplicativo possibilita ao drone a captação automática de dados de imagem RGB (*Red-Green-Blue*), multiespectral e térmico, de modo a se obter modelos e mapas tridimensionais ideais. A *Pix4D* (2019) ressalta ainda que o seu aplicativo suporta drones das marcas *DJI*, *Parrot* e *Yuneec*, três dos maiores fabricantes de drones do mercado.

As missões são planejadas de acordo com as diferentes necessidades e os voos podem ser programados das seguintes formas: como polígono, grade, grade dupla, circular, voo livre e multi-bateria; conforme apresentado na Figura 19.

Figura 19 - Formas de planejamento de voo com o *Pix4DCapture*



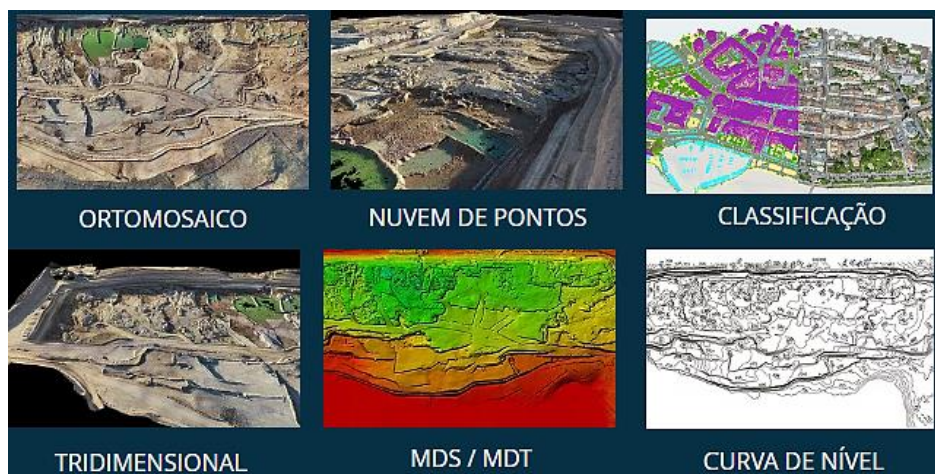
Fonte: Site da *Pix4D* (2019).

De acordo com a *Drone Visual* (2019), o *Pix4D* utiliza as imagens capturadas pelos drones para geração de mapas como modelos digitais de elevação

do terreno e modelos em 3D texturizados, o que possibilita a agilização da tomada de decisões a partir das possíveis análises das informações geradas. Além disso, o *Pix4Dmodel* fornece um cronograma visual e preciso do projeto com registros digitais fornecidos em uma linha do tempo dinâmica, agilizando e melhorando a análise das informações comparando os projetos em diferentes datas, e possibilita a integração de dados. Os principais modelos digitais que a ferramenta gera são (Figura 20):

- Ortomosaico: mapa de alta resolução derivado da sobreposição das imagens, com coordenadas geográficas precisas.
- Nuvem de pontos: massa formada a partir da identificação e relação de cada ponto entre si.
- Classificação da nuvem de pontos: possibilita a diferenciação de objetos e superfícies.
- Tridimensional: representação fiel do edifício ou área de interesse.
- MDS / MDT: modelos digitais de terreno (MDT) e modelos digitais de superfície (MDS), com representação dos diferentes níveis e altitudes.
- Curva de nível: geração das curvas de níveis e mapa de declividade.

Figura 20 - Principais modelos digitais gerados pelo *Pix4D*



Fonte: Site da Drone Visual (2019).

5.5.3 *DroneDeploy*

Conforme citado pela DronEng (2019), o *DroneDeploy* é uma ferramenta de voo automatizado que permite duas formas de realizar seus projetos, sendo: por aplicativo ou no próprio site da empresa. O interessante desse programa é que os projetos podem ser acessados tanto na plataforma, quanto em um dispositivo móvel,

uma vez ele fica salvo na conta do usuário, necessitando apenas de conexão com a internet.

O planejamento do voo pode ser feito através da procura do local que se deseja sobrevoar dentro do aplicativo, marcando-se e ajustando-se os pontos de acordo com o desejado; ou então a partir do *upload* de um arquivo gerado pelo Google Earth. Em seguida, a ferramenta possibilita ao usuário que ele ajuste configurações como sobreposição, velocidade e direção do voo (DRONENG, 2019).

Segundo a *DroneDeploy* (2019), para geração do modelo com os dados obtidos, após selecionado o projeto, o usuário escolhe o tipo de mapa que ele deseja gerar, podendo ser de terreno ou de estruturas. Feito o *upload* das imagens, o *software* de processamento da *DroneDeploy* realiza tudo automaticamente, removendo distorções e unindo diversas fotos para criar mosaicos georreferenciados. Quando o mapa se encontra concluído, o usuário pode visualizar diferentes camadas do mapa, como:

- Ortomosaico;
- Elevação;
- Saúde vegetal;
- Modelo 3D.

De acordo com a quantidade de fotos e a qualidade, o aplicativo pode levar de alguns minutos a horas para realizar o processamento e, ao final, o usuário recebe a notificação no *e-mail* de que o mapa está completo. Dessa forma, o *DroneDeploy* se caracteriza por ser uma plataforma que não permite o controle sobre a modelagem da estrutura.

5.5.4 Agisoft Metashape

De acordo com a *Agisoft LLC* (2019), o *Metashape* é uma solução de *software* de ponta, com seu núcleo de mecanismo levando a fotogrametria aos seus limites máximos. O programa se caracteriza como um *software* de processamento de imagens aéreas de drones, para geração de modelos digitais que podem ser utilizados em diversos setores, como: inspeção de estruturas, inspeção termal, agricultura de precisão, topografia e muito mais.

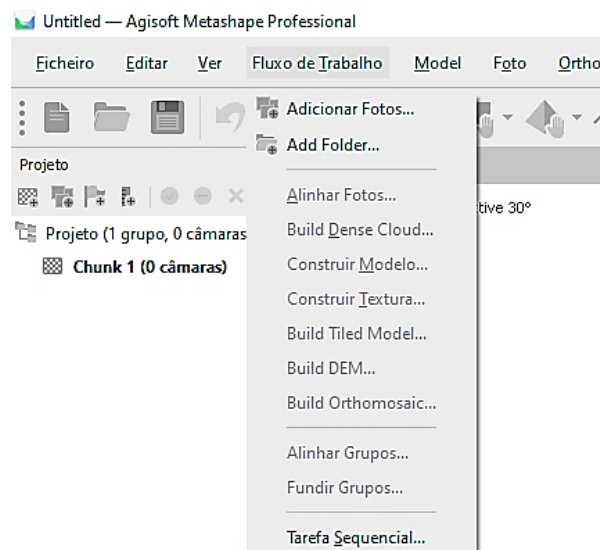
Diferentemente dos programas citados anteriormente, o *Metashape* não permite a captação das fotos, apenas o seu processamento, e permite um maior

controle de cada etapa, podendo-se definir as configurações e acurácia para cada uma delas, no qual o próprio usuário determina os níveis de precisão que deseja adotar.

A Agisoft LLC (2019) ressalta ainda que o *software* permite processar imagens de câmeras RGB ou multiespectrais, incluindo sistemas com várias câmeras, e com o processamento dessas imagens a plataforma gera em alta precisão, nuvens de pontos densos, modelos poligonais texturizados, georreferenciados ortomosaicos, MDT e MDS. Um pós-processamento adicional permite eliminar sombras e artefatos de textura dos modelos, calcular a vegetação índice e extrair informações para mapas de ação de equipamentos agrícolas, classificar automaticamente nuvens densas de pontos, além de diversos outros detalhamentos.

Segundo Campiteli (2017), a ferramenta “Fluxo de Trabalho” que a plataforma possui, engloba todas etapas de um processamento até a geração do ortomosaico. Conforme apresentado na Figura 21, as etapas são compostas por alinhamento das fotos, construção da nuvem densificada, construção do modelo, modelo digital de elevação (DEM), construção da textura e finalizando-se com a construção do ortomosaico.

Figura 21 - Ferramenta “Fluxo de Trabalho” no programa Agisoft Metashape



Fonte: Próprio autor (2019).

- Alinhamento das fotos: primeira fase do processamento das fotos. Nesta etapa é realizado o processo de fototriangulação, a técnica fotogramétrica que estipula as coordenadas do terreno em relação a um referencial de terreno. O resultado final

desse processo é a geração da nuvem de “*tie points*” (pontos fotogramétricos), que possuem função de materializar o sistema de coordenadas do terreno.

- Construção da nuvem densificada: a função desta etapa é densificar a nuvem de pontos gerada no processo anterior. Sendo assim, o programa aumenta a quantidade de pontos na nuvem e diminui os espaços vazios, para representar o modelo de forma mais nítida.

- Construção do modelo: etapa que consiste em gerar modelos tridimensionais na plataforma, sendo uma representação fiel dos edifícios e áreas de interesse, com elevados detalhes e precisão.

- Construção da textura: estágio do processamento que tem como objetivo aplicar uma textura ao modelo tridimensional, de modo a melhorar seu aspecto visual.

- Construção de DEM: os produtos gerados são uma representação 2D na forma de pontos de cor do MDS e MDT. A geração do MDT possibilita gerar as curvas de nível.

- Construção do ortomosaico: tópico no qual é realizado o processo de ortorretificação, ou seja, a técnica onde as feições das imagens são projetadas ortogonalmente com escala constante, não apresentando os deslocamentos devidos ao relevo e à inclinação da câmera. Depois que as imagens forem devidamente corrigidas, a plataforma realiza a mosaicagem das ortofotos e cria um único produto.

Em seu manual do programa, a *Agisoft* (2019) explica que permite a escolha da acurácia de cada etapa, podendo ser de alta precisão, média ou baixa. À medida em que a precisão é diminuída para o processamento, a imagem é reduzida em um fator de 4 (2 vezes de cada lado). A configuração de maior precisão é recomendada apenas para dados de imagem nítidos e principalmente para fins de pesquisa, devido ao processamento ser bastante demorado. Esse fator justifica a necessidade de se utilizar equipamentos de qualidade, pois, quanto melhor o computador utilizado, modelos com maior precisão e de forma mais rápida o *Metashape* poderá gerar.

5.5.5 Adobe Photoshop Lightroom Classic

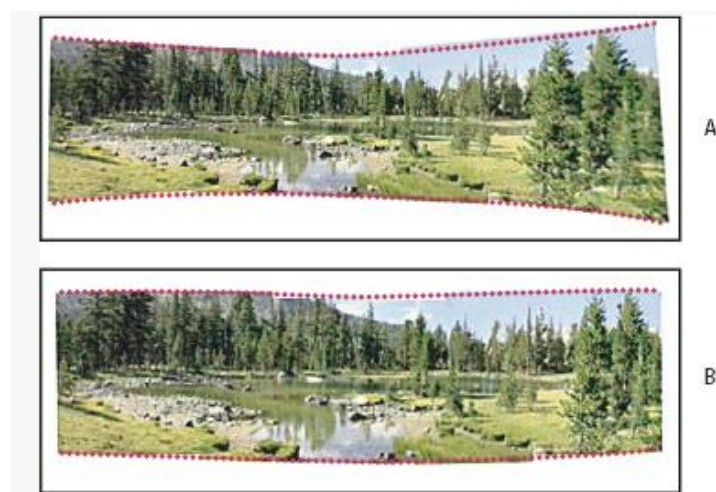
Segundo Cardoso (2017), o *Adobe Photoshop Lightroom Classic* é um programa para catalogação e realização de ajustes em coleção de fotos, no qual é

possível visualizar todas as fotos importadas, mesclar imagens parecidas e criar um efeito *High Dynamic Range* (HDR). Dessa forma, proporciona revelar o máximo de detalhes possíveis. Além disso, de acordo com a *Adobe* (2019), a ferramenta permite exibir as fotos em um mapa do Google, definir o deslocamento de fuso horário e marcar coordenadas de GPS (Sistema de Posicionamento Global) nas fotos automaticamente.

Para utilização, o *Lightroom Classic* necessita de uma assinatura mensal, sendo amplamente utilizada por fotógrafos profissionais para edição de fotos. Já na engenharia, ele pode ser utilizado na função de mesclagem de fotos para obtenção de uma imagem panorâmica, e assim, representação de fachadas, por exemplo. O manual do programa explica que ele gera os panoramas de modo muito simples e que o usuário pode escolher o tipo de projeção que deseja, sendo:

- Esférico: alinha e transforma as imagens como se fossem mapeadas dentro de uma esfera. Este modo de projeção é excelente para panoramas realmente grandes ou de múltiplas linhas.
- Perspectiva: projeta o panorama como se tivesse sido mapeado em uma superfície plana. Dado que este modo mantém as linhas retas eretas, se torna bastante viável para fotografia arquitetônica.
- Cilíndrico: projeta a imagem como se ela tivesse sido mapeada no interior de um cilindro. Este modo funciona muito bem nos panoramas amplos, mas também mantém as linhas verticais ereta.

Figura 22 - Projeção de layout cilíndrico para panoramas



Fonte: Site *Adobe* (2019).

Além disso, de acordo com *Adobe* (2019), o programa conta ainda com a função “*Upright*”, de correção de perspectiva, na qual é possível reparar inclinações ou distorções nas fotografias, tanto na vertical quanto na horizontal.

5.5.6 *Kolor Autopano Giga*

Segundo a *Kolor* (2014), O *Autopano* é um aplicativo de “costura” de imagens que também torna a criação de panoramas de forma simples e eficiente. O programa se encontra de forma gratuita e permite que as imagens sejam inseridas e detectadas para a geração do panorama. Além disso, na ferramenta é possível editar a imagem panorâmica gerada, permitindo funções como:

- Modo de imagens: verificação das posições, sobreposição, distorção, além de remoção de fotos.
- Modo mover: possibilita mover ou girar imagens no panorama, para que possam ser posicionadas corretamente
- Editor de pontos de controle: permite corrigir manualmente os pontos de controle para obter um posicionamento ideal de suas imagens.
- Ferramenta de mascaramento: proporciona que o usuário decida os objetos que se deseja manter ou remover na foto panorâmica.

5.6 Diagnóstico e resolução de patologias

Diagnóstico de um problema patológico é o entendimento científico dos fenômenos ocorridos e seu desenvolvimento em uma edificação. O processo de diagnóstico constitui a redução da incerteza inicial pelo gradativo levantamento de dados. Esta progressiva diminuição da incerteza leva a uma redução de suspeitas, até que se chegue a uma correlação convincente para o problema observado (NEPOMUCENO, 2000).

Para Souza e Ripper (1998), o diagnóstico só poderá ser efetuado após a conclusão das etapas de levantamento de dados e análise. Frequentemente ocorre de ter que se retornar à primeira etapa, pois só após algumas tentativas de diagnóstico, é que se consegue saber da necessidade de coleta e análise de novos elementos. Além disso, o diagnóstico depende de uma série de fatores, e pode levar

o analista a conclusões diversas, como casos extremos de se recomendar a demolição da estrutura, devido à inviabilidade de uma recuperação ou reforço.

Watt (2007) aborda que, quando uma patologia é detectada, é essencial que seja interpretada corretamente e que seja diagnosticada por uma ação racional. O diagnóstico é necessário para a coleta e a avaliação de todas as informações relevantes e depende do:

- Conhecimento do comportamento dos materiais de construção relevantes;
- Conhecimento da construção do edifício;
- Conhecimento de como o uso (passado, presente e futuro) do edifício pode afetar a construção.

Além disso, Watt (2007) traz que as manifestações patológicas devem ser avaliadas com base em perguntas e respostas. Os questionamentos típicos utilizados nos diagnósticos são: “Qual a causa da patologia?”, “O problema patológico pode ser atribuído a duas ou mais causas?”, “Ela é estática ou progressiva?” e “Mais alguma ação é necessária para diagnosticar o defeito?”.

Para Nepomuceno (2000), a conduta a ser seguida para diagnóstico e resolução de patologias é inicialmente a identificação da evolução do problema patológico e as alternativas de intervenção, e então, a decisão do que fazer. A primeira etapa, também chamada de prognóstico, consiste em determinar as condições à qual a edificação está sujeita e as possíveis formas de o problema patológico evoluir. A avaliação do prognóstico irá definir como deverá ser a intervenção. Para a segunda etapa, alguns parâmetros devem ser considerados no processo de recuperação, como:

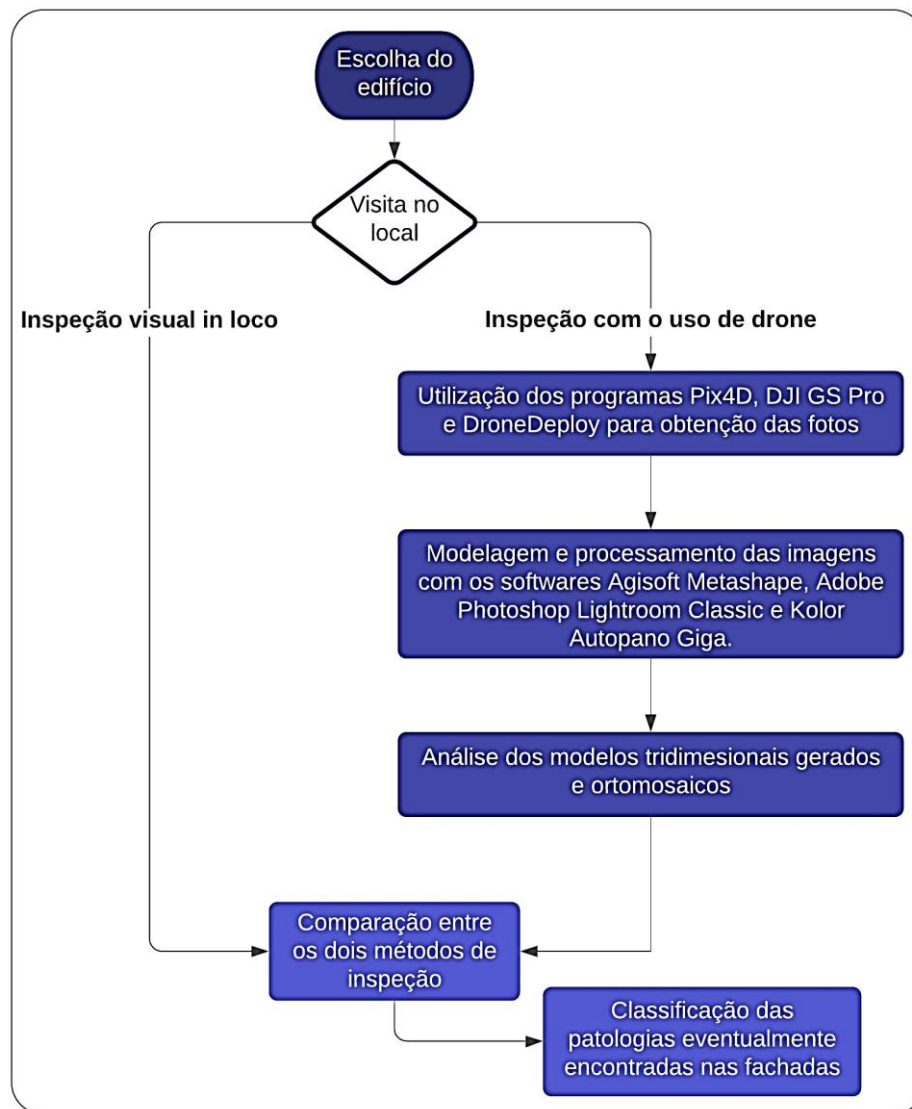
- Grau de incerteza sobre os efeitos da intervenção: por mais que haja uma certeza do diagnóstico, existem diversos fatores que podem intervir no processo (mão de obra, experiência do responsável técnico, qualidade dos materiais e tecnologia), sendo assim, é fundamental que seja feito um acompanhamento do desempenho da recuperação.
- Relação custo-benefício: conforme já citado anteriormente neste trabalho, uma manutenção corretiva será sempre um custo adicional à edificação, portanto, deve-se analisar as relações de custo para as propostas de intervenção, considerando-se as consequências e os requisitos de durabilidade que ela propõe.

- Disponibilidade de tecnologia para execução dos serviços: em alguns casos, a melhor solução para a patologia diagnosticada depende de certa tecnologia. No entanto, um domínio falho dessa tecnologia muitas vezes pode ocasionar em um desempenho insatisfatório pós-intervenção.

6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo aborda a metodologia utilizada neste estudo. O diagrama apresentado na Figura 23 mostra as principais atividades desenvolvidas para realização da pesquisa.

Figura 23 - Desenho esquemático das atividades a serem desenvolvidas



Fonte: Próprio autor (2019).

6.1 Apresentação da área de estudo

O presente trabalho consistiu-se na realização de um estudo de caso de uma edificação residencial localizada na cidade de Palmas - TO. O edifício teve sua construção finalizada em 2017, apresenta torre única com 22 pavimentos e 36 apartamentos, sendo 2 por andar, além disso, sua fachada é composta predominantemente por revestimento cerâmico (Figura 23).

Figura 24 - Edificação residencial de estudo



Fonte: Próprio autor (2019).

6.2 Aplicação dos métodos de inspeção – vistoria e uso de VANTs

Para a inspeção deste estudo de caso, foi realizada a visita *in loco* e utilização de drone com asa rotativa, modelo *Phantom 4 Advanced* da marca *DJI*, similar ao da Figura 25. O VANT é de uso profissional, possui autonomia de voo de até 30 minutos e alcança velocidade de até 72 Km/h no modo esporte. Além disso, conta ainda com sensores de detecção de obstáculos em 3 direções e controle de longo alcance, sendo de até 7 km (DJI, 2019).

Figura 25 - Drone *DJI Phantom 4 Advanced*



Fonte: Site *DJI* (2019).

6.3 Captura de imagens

A captura das imagens foi feita inicialmente do térreo com câmera digital e lente teleobjetiva de 8 *megapixels* e, em seguida, com o drone, mediante uso dos programas *Pix4D*, *DJI GS Pro* e *DroneDeploy*. As fotos com o drone foram capturadas por uma câmera de 20 *megapixels* e obtidas das seguintes formas:

- por meio de um sistema bidimensional, através da captura de cada fachada separadamente, com o objetivo de proporcionar a vista de cada uma delas com maior detalhamento;
- em 360°, a uma altura de 110 metros, para capturar todo o perímetro do edifício e gerar a modelagem 3D;
- em 360° de forma que o drone se movesse e obtivesse fotos a cada 3 metros na horizontal e ao finalizar um giro, se movesse 10 metros na vertical, permitindo também a modelagem e representação tridimensional do edifício.

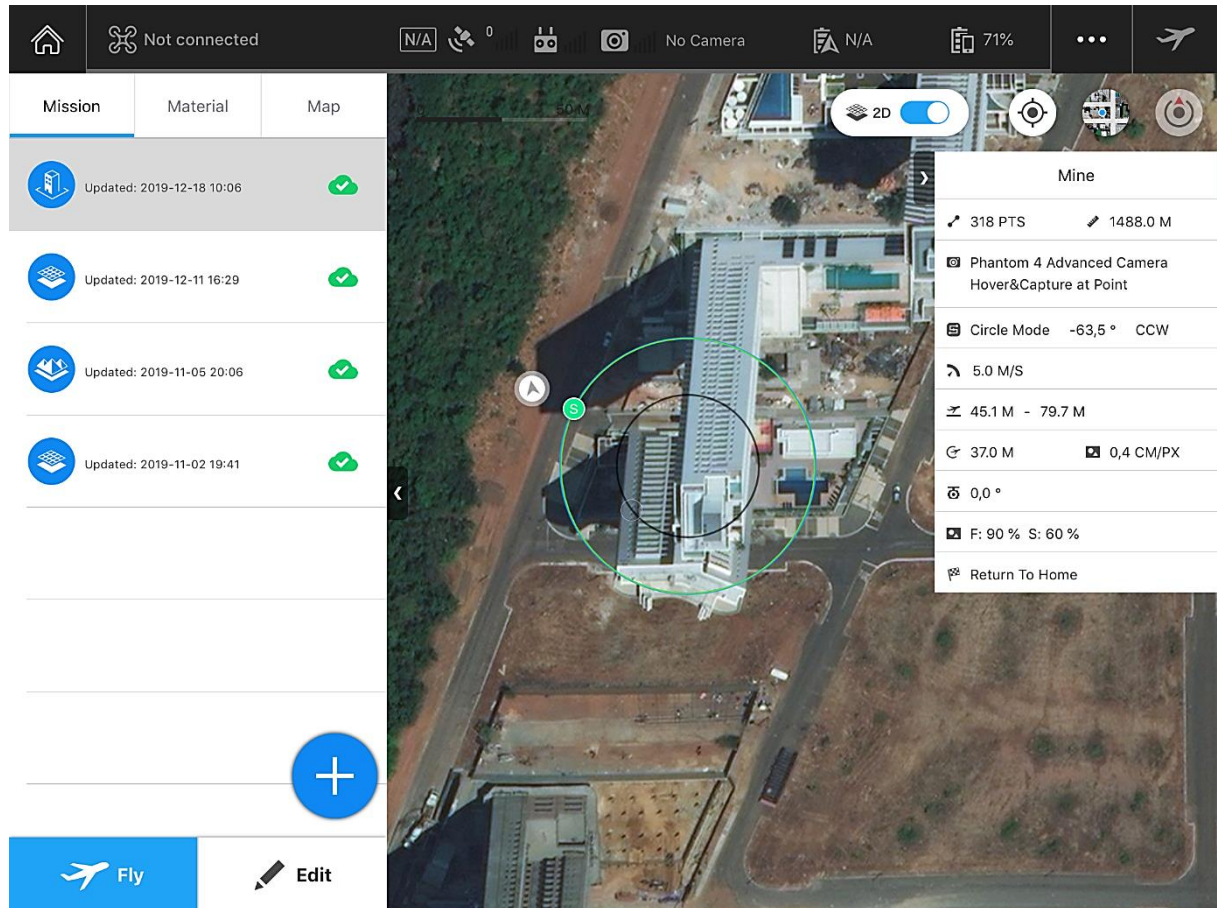
As programações de voo definidas para cada um dos programas serão apresentadas detalhadamente nos tópicos a seguir.

6.3.1 *DJI GS Pro*

O programa *DJI GS Pro* foi utilizado para obtenção das fotos em 360° para posterior geração do modelo tridimensional e ortoimagens. Conforme observado na Figura 26, foi empregado o “*Circle Mode*”, com raio de voo equivalente a 37 metros, o

drone voando a uma velocidade de 5 m/s e alturas variando de 45,1 m a 79,7 m. Além disso, o programa apresentou que as fotos teriam GSD de 0,4 cm/pixel.

Figura 26 - Programação de voo do *DJI GS Pro*

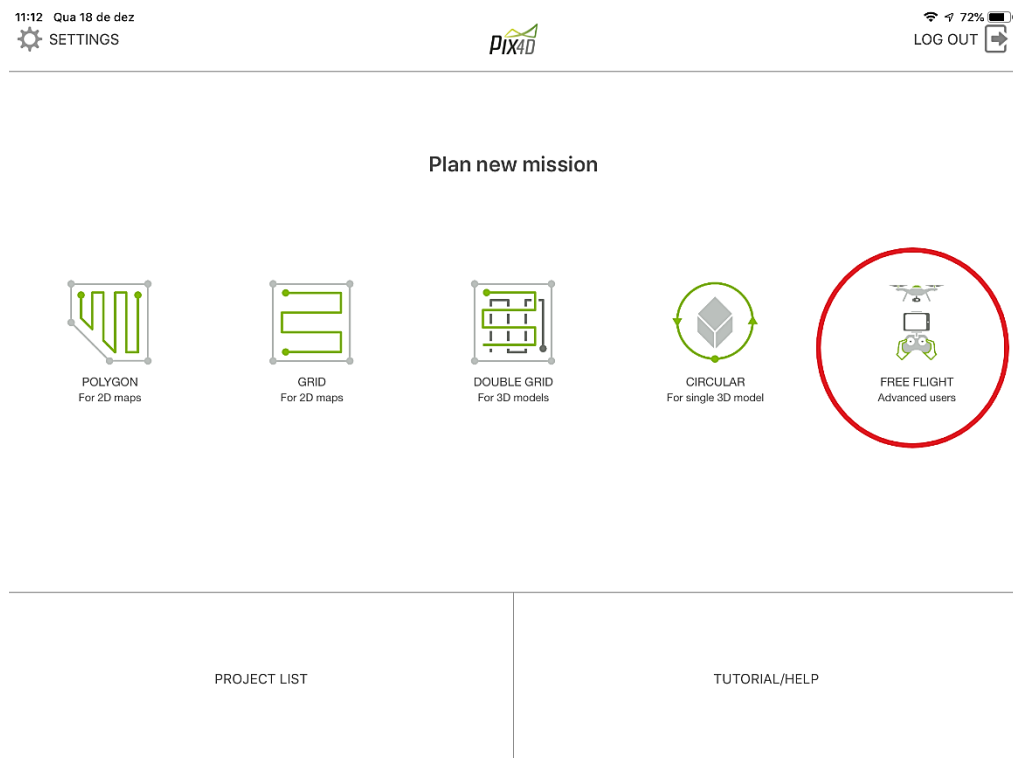


Fonte: Próprio autor (2019).

6.3.2 Pix4D

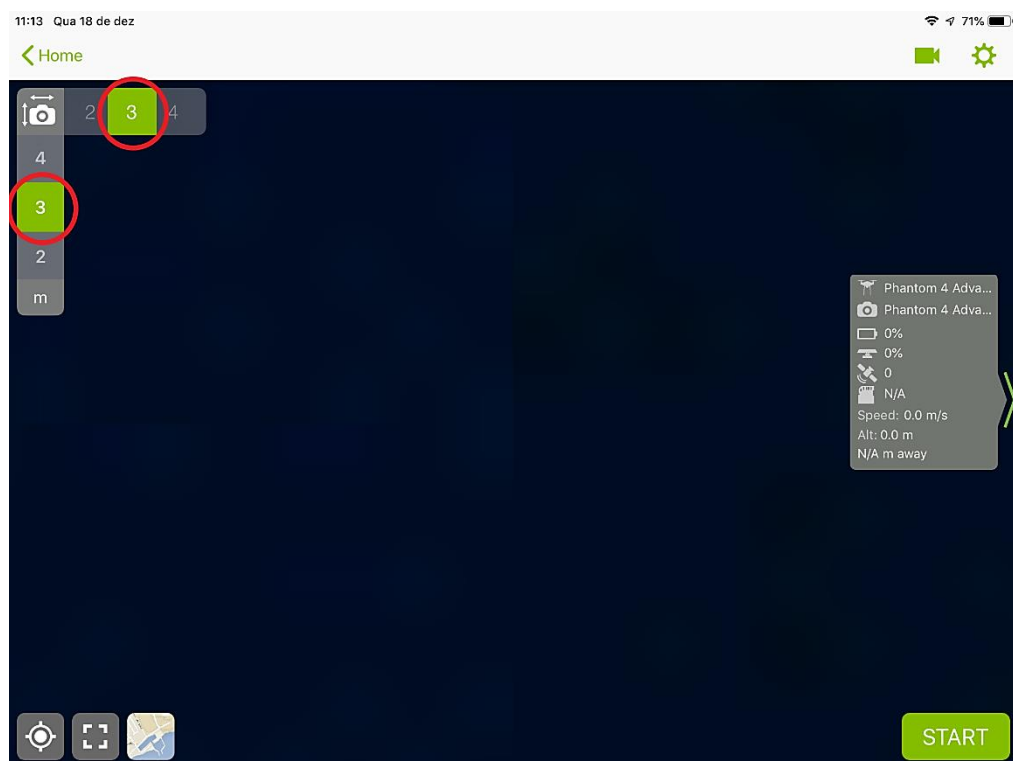
O Pix4D foi o aplicativo definido para obtenção das imagens das fachadas, para posterior elaboração de fotos panorâmicas. Segundo apresentado nas Figuras 27 e 28, escolheu-se para o programa o modo de “voo livre” (*free flight*), no qual foi estabelecido que as fotos seriam tiradas paralelamente às fachadas do edifício, a cada 3 metros percorridos na vertical ou na horizontal.

Figura 27 - Plano de voo estabelecido para o *Pix4D*



Fonte: Próprio autor (2019).

Figura 28 - Configurações do voo do drone e obtenção das fotos no *Pix4D*



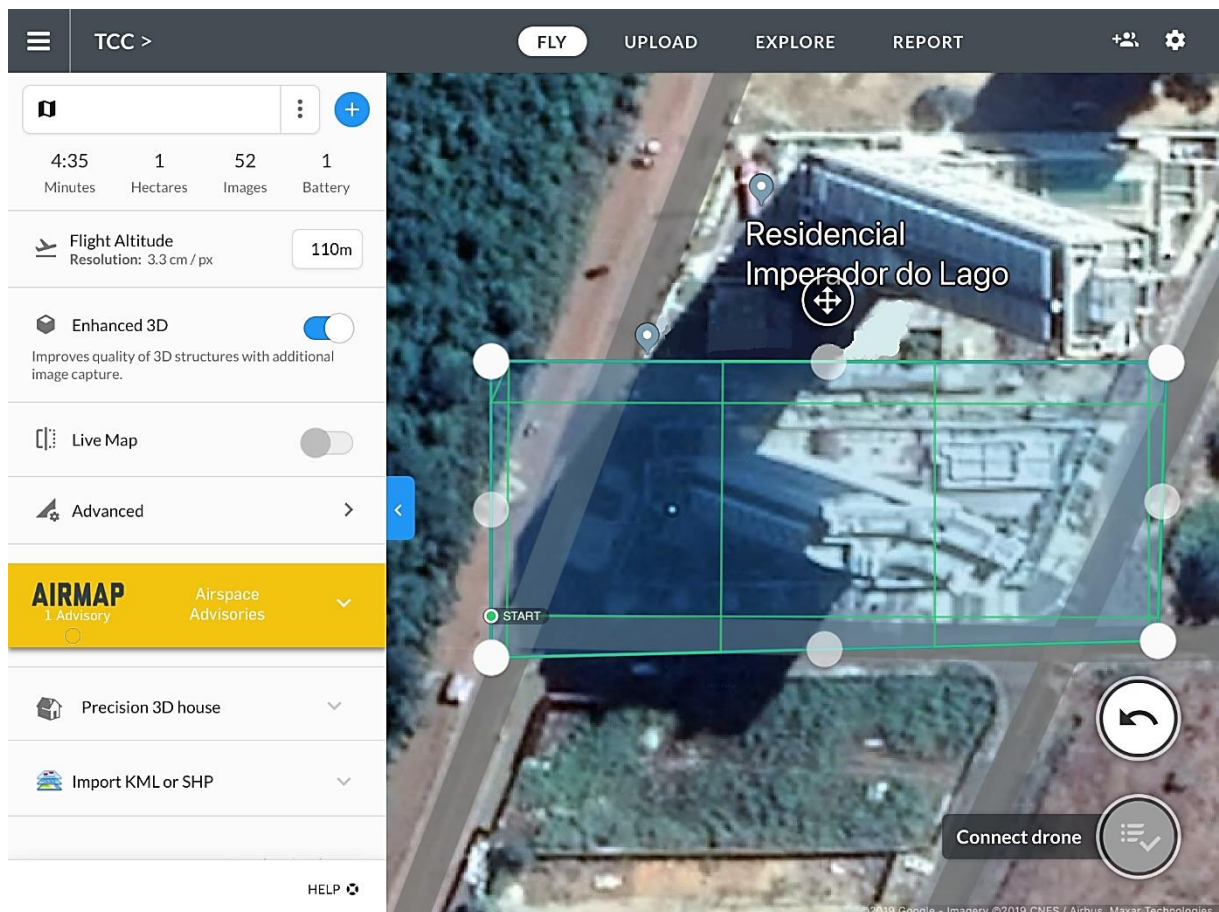
Fonte: Próprio autor (2019).

6.3.3 DroneDeploy

O *DroneDeploy* foi um dos aplicativos utilizados para obtenção de imagens para geração do modelo tridimensional do edifício de estudo. Diferentemente do *DJI GS Pro*, seu plano de voo não se apresentou de forma circular, mas em linha reta nos sentidos longitudinal e transversal do prédio; além disso foi atribuída apenas uma única altura de voo, definida em 110 metros. Essa altura proporcionou um GSD de 3,3 cm/pixel com relação ao terreno.

O *software* consta ainda nas definições do plano de voo o tempo gasto, a distância percorrida, o número de imagens que serão obtidas e a quantidade de baterias necessárias. Todos esses dados são apresentados na Figura 29.

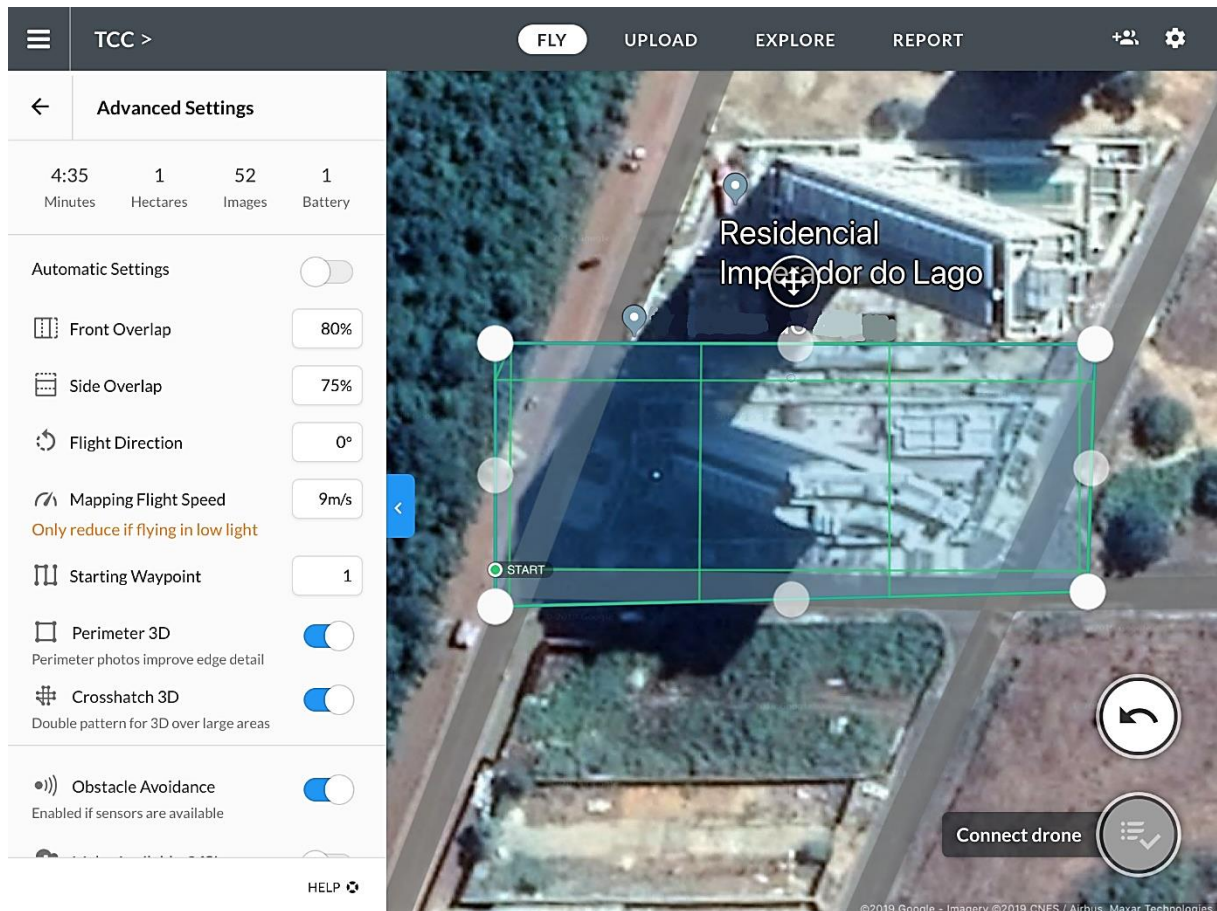
Figura 29 - Plano de voo e características definidas no *DroneDeploy*



Fonte: Próprio autor (2019).

Já a Figura 30 apresenta dados como sobreposição frontal e lateral, direção, pontos de início e velocidade de voo, sendo esta observada em 9 m/s.

Figura 30 - Características de voo pelo *DroneDeploy*



Fonte: Próprio autor (2019).

6.4 Processamento das imagens

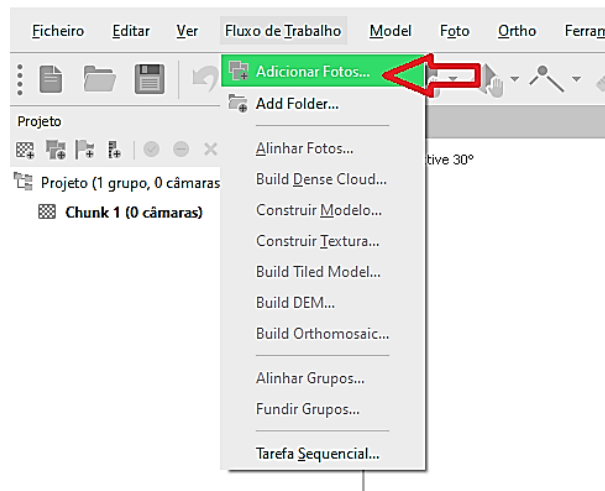
O processamento das imagens capturadas ocorreu de duas formas: através do software *Agisoft Metashape*, que possibilitou a geração do modelo 3D, além das ortoimagens; e pelo processamento pelos editores de fotos *Adobe Photoshop Lightroom Classic* e *Kolor Autopano Giga*, para elaboração das vistas panorâmicas de cada fachada.

6.4.1 *Agisoft Metashape*

O programa *Agisoft Metashape* foi utilizado em 2 operações: a primeira para elaboração do modelo tridimensional utilizando as fotos obtidas pelo *DJI GS Pro*, e a segunda, utilizando-se as imagens adquiridas pelo *DroneDeploy*. Ambas as operações seguiram o mesmo fluxo de trabalho, conforme apresentado a seguir:

- Adicionar as fotos: as fotos obtidas pelo *DJI GS Pro* e pelo *DroneDeploy* foram inseridas no espaço de trabalho (Figura 31), cada grupo em arquivos separados, para elaboração de dois modelos 3D.

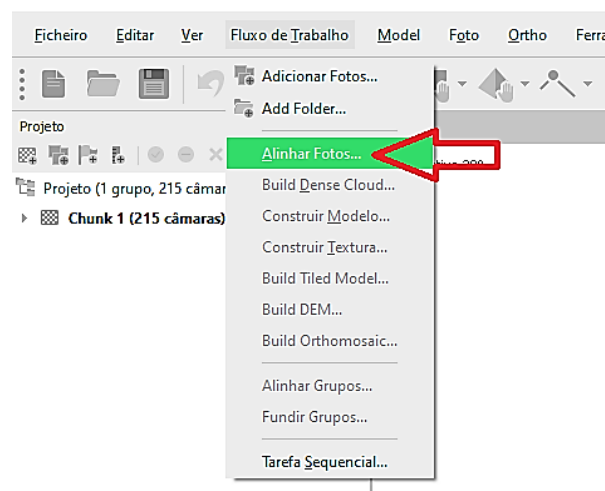
Figura 31 - Fluxo de Trabalho *Agisoft Metashape*: adicionar fotos



Fonte: Próprio autor (2020).

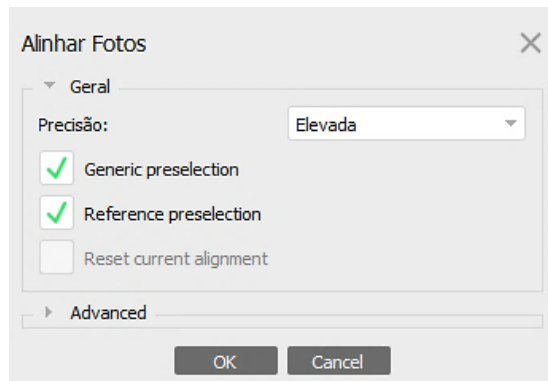
- Alinhamento das fotos: as imagens foram alinhadas pelo programa (Figura 32), que possibilitou a estipulação das coordenadas do prédio de estudo e a construção da nuvem esparsa. Além disso, foi utilizada a configuração de elevada precisão, conforme observado na Figura 33.

Figura 32 - Fluxo de Trabalho *Agisoft Metashape*: alinhar fotos



Fonte: Próprio autor (2020).

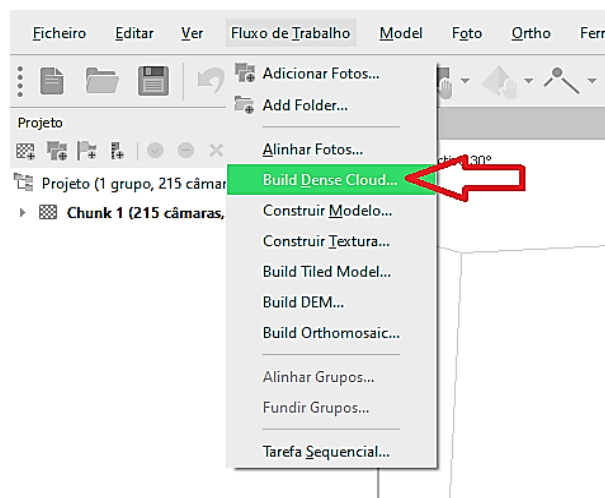
Figura 33 - Configurações para Alinhamento das Fotos no *Agisoft Metashape*



Fonte: Próprio autor (2020).

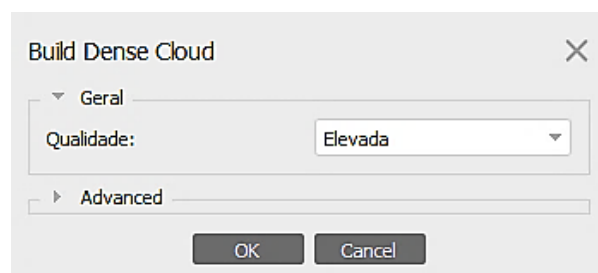
- Construção da nuvem densa: após alinhadas as imagens e construção da nuvem esparsa, foi realizada a densificação dos pontos para diminuição dos espaços vazios e representação do modelo de forma mais nítida. Nesta etapa também foi utilizada configuração de qualidade de elevada precisão (Figuras 34 e 35).

Figura 34 - Fluxo de Trabalho *Agisoft Metashape*: construção da nuvem densa



Fonte: Próprio autor (2020).

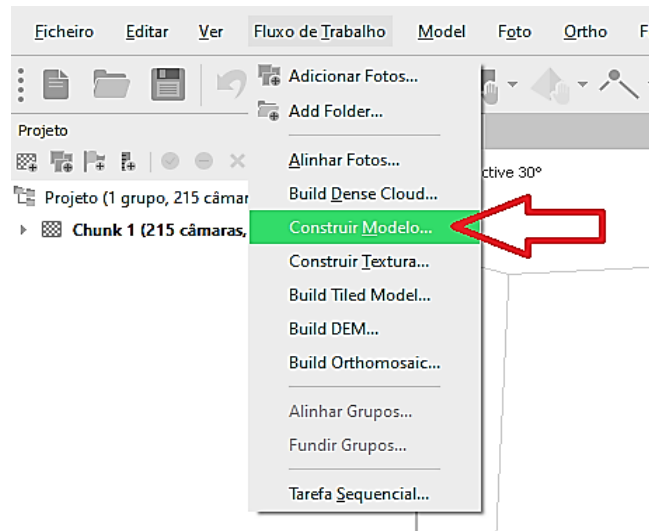
Figura 35 - Configurações para construção da nuvem densa no *Agisoft Metashape*



Fonte: Próprio autor (2020).

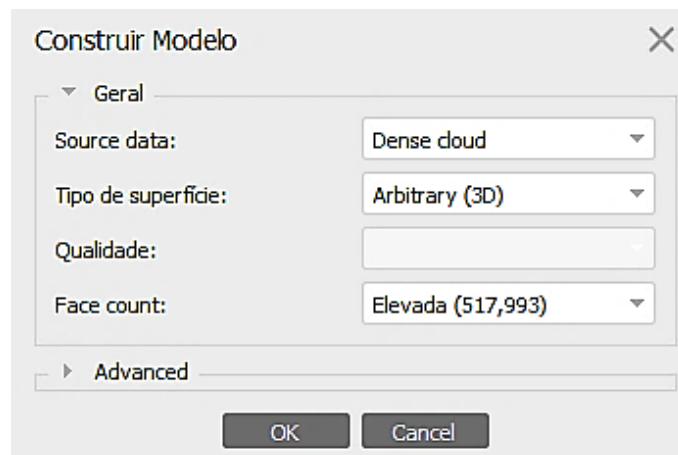
- Construção do modelo 3D: etapa realizada após a criação da nuvem densa, que consistiu na geração do modelo tridimensional em si. Nela, foram definidos que os dados de origem seriam a nuvem densa, o tipo de superfície seria tridimensional e que deveria apresentar elevada precisão, conforme observado nas figuras abaixo.

Figura 36 - Fluxo de Trabalho Agisoft Metashape: construir modelo



Fonte: Próprio autor (2020).

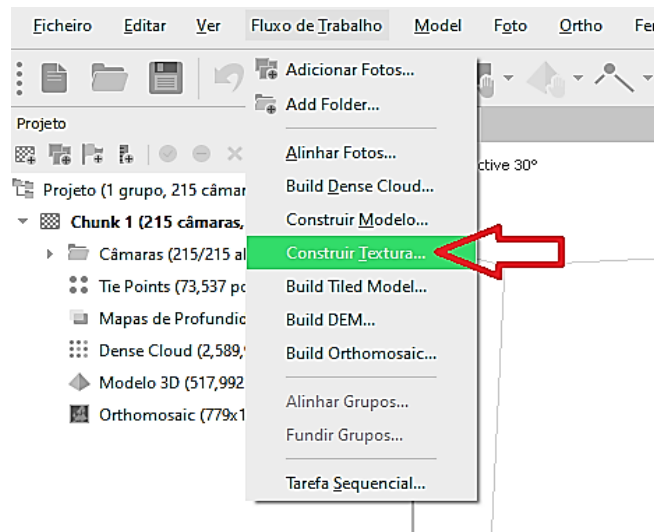
Figura 37 - Configurações para construção do modelo 3D no Agisoft Metashape



Fonte: Próprio autor (2020).

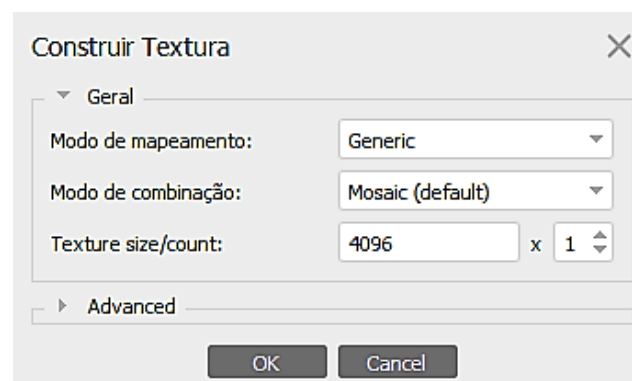
- Construção da textura: após a construção do modelo tridimensional, foi realizada a etapa de construção da textura, etapa que permite que o modelo melhore seu aspecto visual e se aproxime ainda mais do real. O modo de mapeamento utilizado foi o genérico e o de combinação foi o mosaico padrão (Figuras 38 e 39).

Figura 38 - Fluxo de Trabalho *Agisoft Metashape*: construir textura



Fonte: Próprio autor (2020).

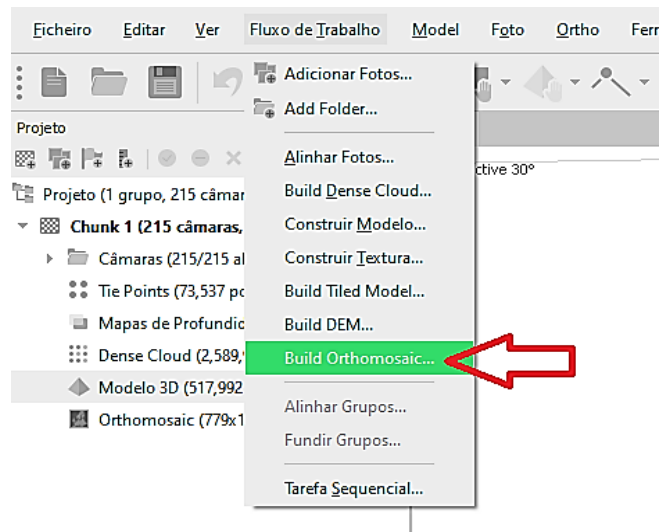
Figura 39 - Configurações para construção da textura no *Agisoft Metashape*



Fonte: Próprio autor (2020).

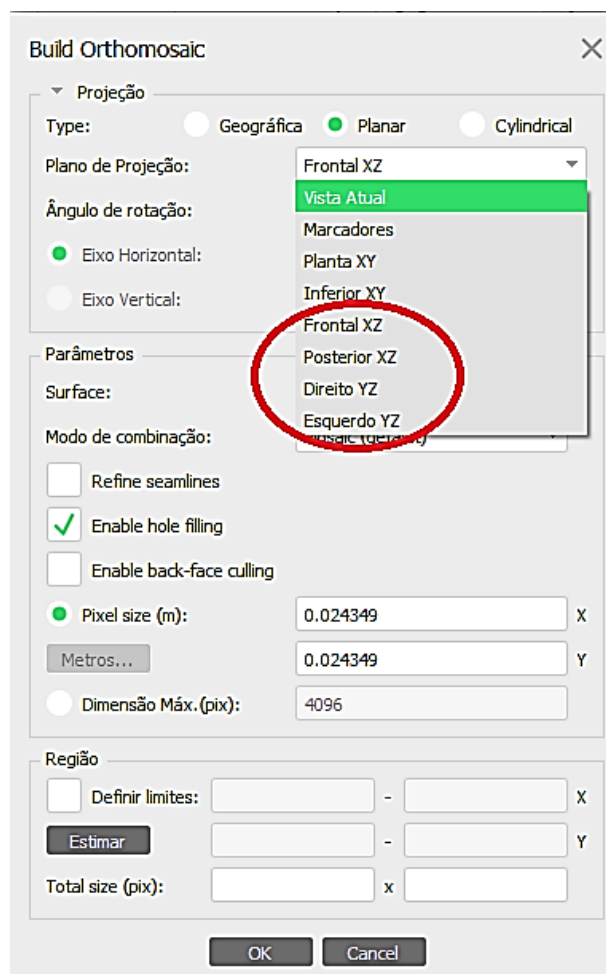
- Construção do ortomosaico: posteriormente à finalização do modelo tridimensional, o passo seguinte foi a construção dos ortomosaicos. Eles foram estruturados para as quatro fachadas, na condição de configuração planar. Sendo assim, fez-se necessário gerar a ortoimagens para os planos de projeção “frontal XZ”, “posterior XZ”, “direito YZ” e “esquerdo YZ”, seguindo as orientações dos planos do modelo 3D, e conforme apresentado nas Figuras 40 e 41.

Figura 40 - Fluxo de Trabalho *Agisoft Metashape*: construir textura



Fonte: Próprio autor (2020).

Figura 41 - Configurações para construção do ortomosaico no *Agisoft Metashape*



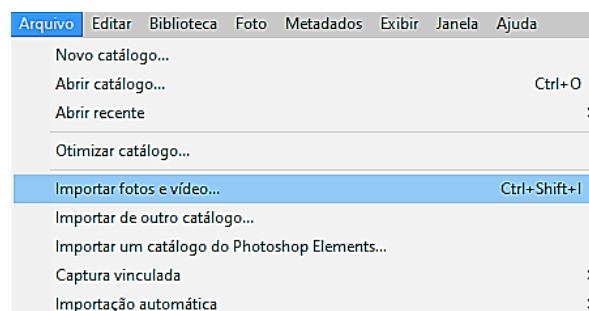
Fonte: Próprio autor (2020).

6.4.2 Adobe Photoshop Lightroom Classic

O *Adobe Photoshop Lightroom Classic* foi um dos programas utilizados para elaboração de fotos panorâmicas para cada uma das fachadas. Para utilização do *software* seguiu-se o passo-a-passo apresentado abaixo:

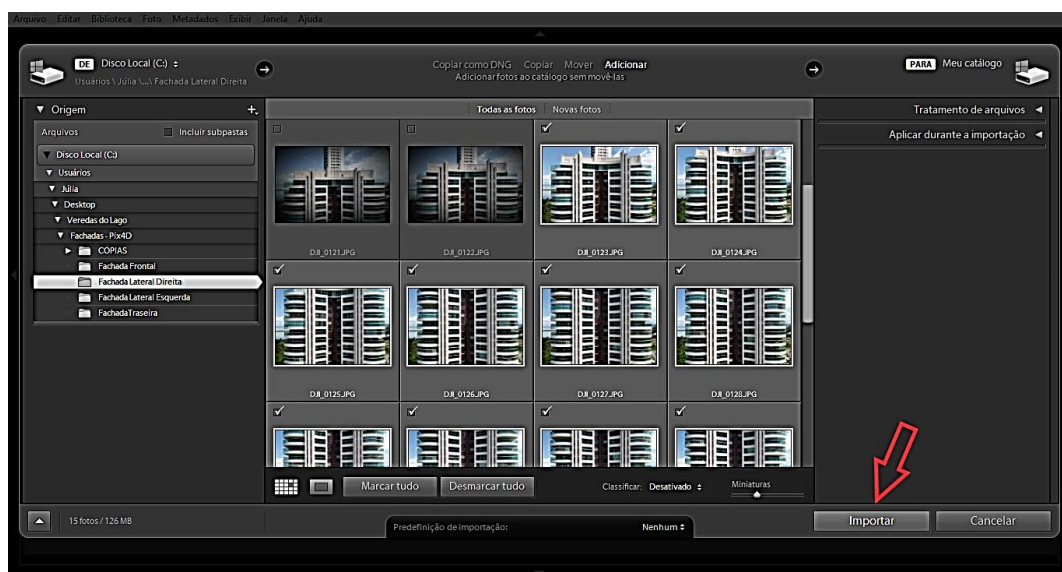
- Importação das fotos (Figuras 42 e 43): foi procurada a pasta do arquivo de escolha, as imagens necessárias são pré-selecionadas e então importadas.

Figura 42 – Etapa de importação de fotos no *Lightroom Classic*



Fonte: Próprio autor (2020).

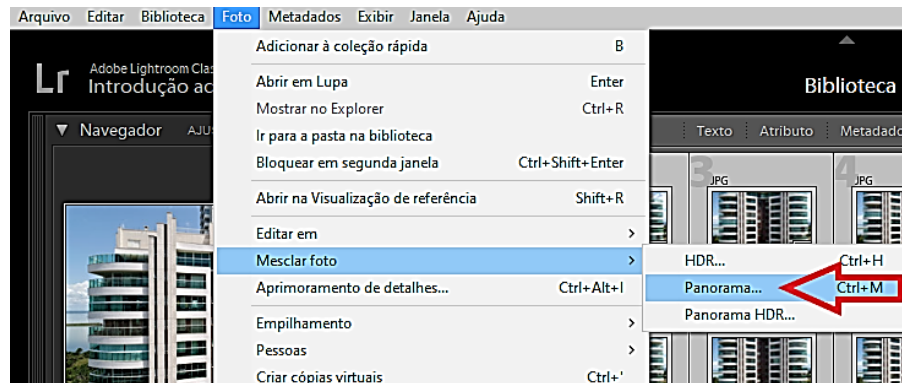
Figura 43 - Etapa de pré-seleção e importação de fotos no *Lightroom Classic*



Fonte: Próprio autor (2020).

- Mesclagem das fotos: novamente foi feita a seleção das imagens já importadas no programa, então foi selecionada a aba “Foto”, seguida do tópico “Mesclar foto” e a escolha do modo ‘Panorama’ (Figura 44).

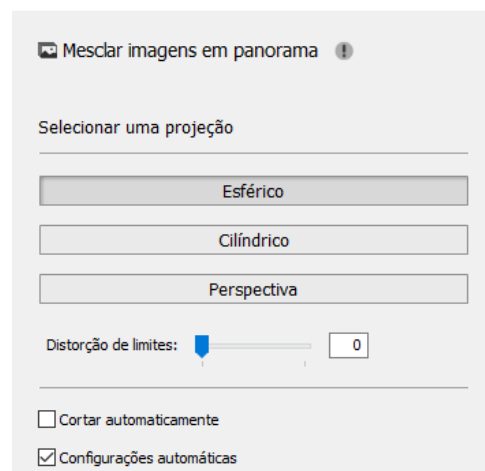
Figura 44 - Etapa de mesclagem de fotos no *Lightroom Classic*



Fonte: Próprio autor (2020).

- Após mesclagem das fotos, foi feita uma seleção do melhor tipo de projeção que se adequaria ao panorama, podendo ser esférico, cilíndrico ou perspectiva, conforme observado na Figura 45.

Figura 45 – Seleção do tipo de projeção para panorama no *Lightroom Classic*



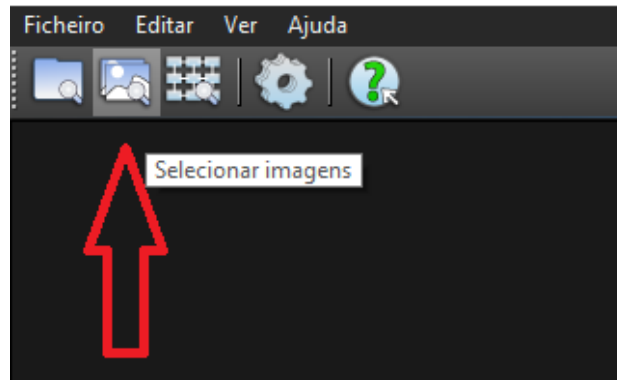
Fonte: Próprio autor (2020).

6.4.3 Kolor Autopano Giga

O *Kolor* foi o segundo programas utilizado para elaboração dos panoramas, sendo que para sua utilização foram seguidas as seguintes etapas:

- Seleção e importação das imagens, conforme apresentado na Figura 46.

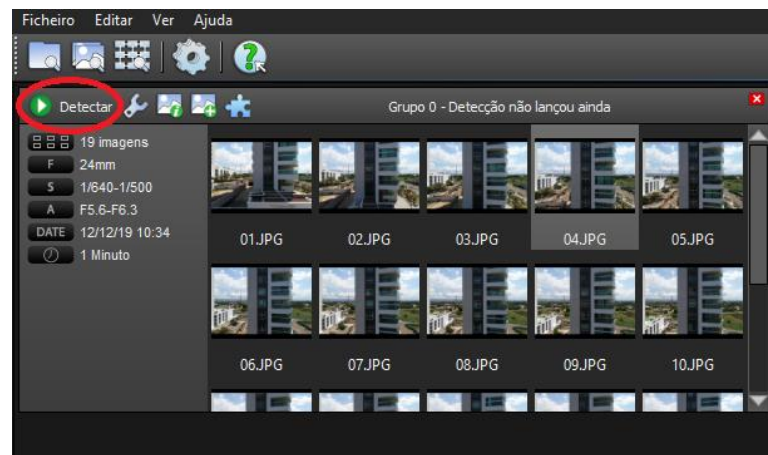
Figura 46 - Importação de fotos no *Kolor Autopano Giga*



Fonte: Próprio autor (2020).

- Detecção de fotos: as imagens importadas foram reconhecidas pelo programa e ao clicar em “Detecção”, possibilitou-se a geração do panorama (Figura 47).

Figura 47 - Detecção de fotos e criação do panorama no *Kolor Autopano Giga*



Fonte: Próprio autor (2020).

6.5 Análise do modelo gerado e identificação de patologias

Após geração dos modelos e das fotos panorâmicas pelos *softwares*, estes tiveram uma análise crítica no qual fatores como precisão e qualidade foram observados. Além disso, realizou-se uma comparação entre os métodos de inspeção tradicional *in loco* e o apresentado pelo drone. A análise da eficiência ocorreu principalmente em função da diferença do tempo, do nível de informação obtidos com o drone e a câmera digital, e do custo de cada. Ao final, foi feita a análise da fachada através das ortoimagens e das imagens originais com o objetivo de identificar patologias.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 Captura de imagens

Na primeira etapa da pesquisa, como resultados, tivemos que para cada situação foram obtidas as seguintes quantidades de imagens:

- *DJI GS Pro*: inicialmente, o programa deveria obter cerca de 350 imagens, no entanto, fatores como bateria insuficiente para completar a missão possibilitou que obtivesse apenas 215 imagens, não abrangendo todo o perímetro do edifício.
- *DroneDeploy*: foram adquiridas apenas 60 imagens, devido ao estilo das fotos, pois foram tiradas como mapeamento, ou seja, apenas acima do edifício e não ao longo do perímetro como feito pelo *DJI GS Pro*.
- *Pix4D*: para a Fachada Frontal foram obtidas 24 fotos; para a Lateral Direita, 21 fotos; Lateral Esquerda, 44 fotos; já para a Traseira, o programa tirou 21 fotos.
- Câmera digital com lente teleobjetiva: a captura de imagens das patologias do edifício de estudo possibilitou a obtenção de 34 fotos, sendo algumas repetidas. Ao analisá-las, apenas 11 foram utilizadas para os resultados deste trabalho.

É importante salientar que as imagens não foram todas registradas no mesmo dia, dessa forma, devido às condições climáticas, as fotos obtidas com a lente teleobjetiva se encontram com uma claridade ligeiramente maior que as obtidas pelo drone.

Figura 48 – Realização de inspeção tradicional *in loco*



Fonte: Próprio autor (2020).

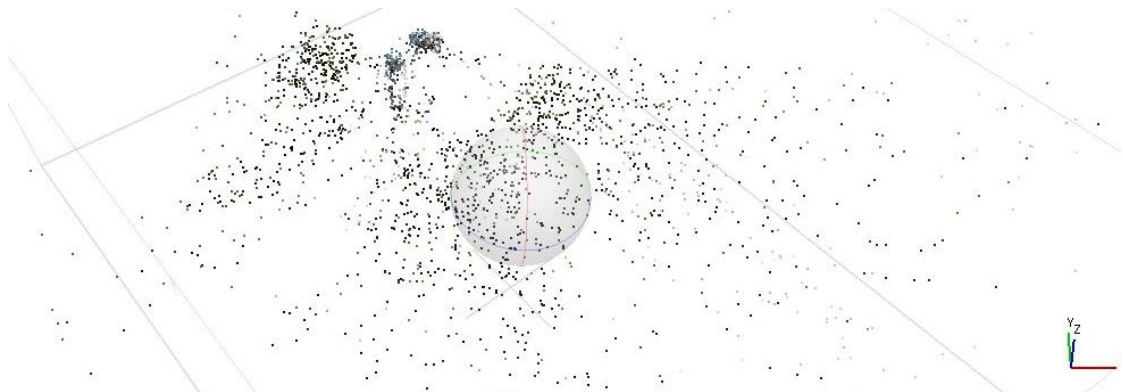
7.2 Processamento das imagens

7.2.1 Agisoft Metashape com imagens do DJI GS Pro

O processamento das fotos do *DJI GS Pro* foi intitulado de “Processo 01” e obteve como resultados os itens a seguir.

- Alinhamento das fotos: devido à elevada precisão adotada para realização desta etapa, ela permitiu o alinhamento de 73537 pontos. Inicialmente, a construção da nuvem esparsa possibilitou a geração de vários pontos espaçados (Figura 48), pois existem diversos fatores que interferem, como o céu e a paisagem ao redor do edifício. Para melhora do resultado final foi então feita uma limpeza do modelo, para que ficasse apenas o prédio de interesse (Figura 49).

Figura 49 – Construção da nuvem esparsa “crua” no Processo 01



Fonte: Próprio autor (2020).

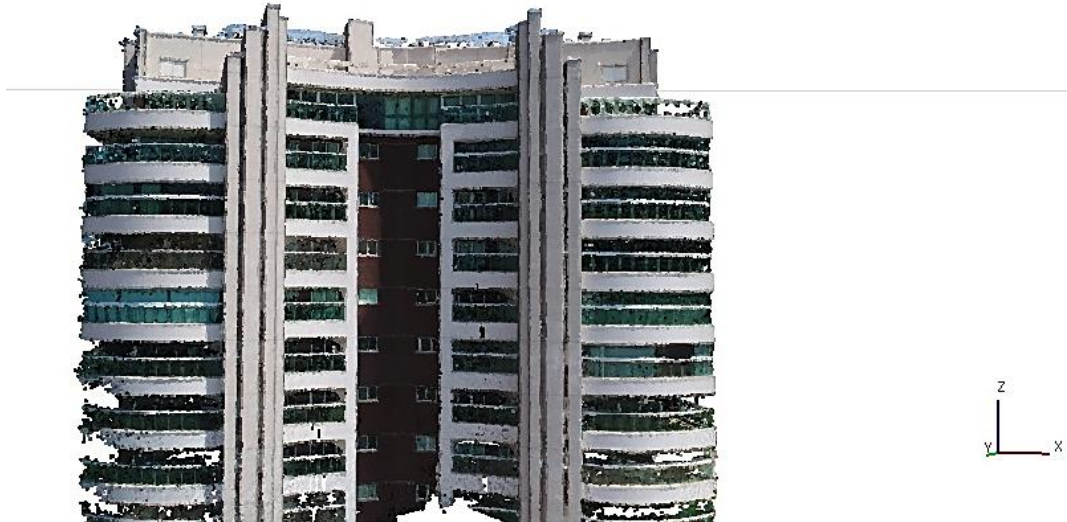
Figura 50 – Nuvem esparsa após limpeza de interferências do modelo no Processo 01



Fonte: Próprio autor (2020).

- Construção da nuvem densa: a execução do preenchimento dos vazios da nuvem esparsa gerou 2589966 pontos e possibilitou o modelo representado na Figura 50.

Figura 51 – Nuvem densa gerada no Processo 01



Fonte: Próprio autor (2020).

- Construção do modelo 3D: o modelo tridimensional já com textura está representado abaixo, na Figura 51. Nele, foram geradas 517992 faces.

Figura 52 – Geração do modelo 3D no Processo 01



Fonte: Próprio autor (2020).

Ao analisar o modelo 3D gerado, percebeu-se que no centro, ele apresenta uma qualidade maior e não possui muitas interferências. Já nas extremidades, onde o programa não entende com precisão o que é do objeto de estudo e o que é dos elementos exteriores, o modelo sofre uma grande distorção, que prejudica sua qualidade em si.

- Construção do ortomosaico: a geração do ortomosaico nos eixos esquerdo YZ, frontal XZ, posterior XZ e direito YZ, respectivamente, obteve as seguintes imagens (Figura 52 a 55).

Figura 53 – Ortomosaico eixo esquerdo YZ no Processo 01



Fonte: Próprio autor (2020).

Figura 54 - Ortomosaico eixo frontal XZ no Processo 01



Fonte: Próprio autor (2020).

Figura 55 - Ortomosaico eixo posterior XZ no Processo 01



Fonte: Próprio autor (2020).

Figura 56 - Ortomosaico eixo direito YZ no Processo 01



Fonte: Próprio autor (2020).

Decorrentes do modelo 3D, as ortoimagens das fachadas apresentam as mesmas distorções que o modelo apresenta. Sendo assim, se tornam mais nítidas e visíveis nas regiões que estão no meio da imagem, enquanto se deformam mais nas extremidades. Além disso, nas ortofotos obtidas é possível identificar pouquíssimos casos de manifestações patológicas.

7.2.2 Agisoft Metashape com imagens do DroneDeploy

Já o processamento das fotos obtidas pelo *DroneDeploy* foi intitulado de “Processo 02”.

- Alinhamento das fotos: as 60 imagens utilizadas nesse processo propiciaram o alinhamento de 16056 pontos (Figura 56). Assim como realizado com

as imagens do DJI GS Pro, foi também feita uma limpeza do modelo para eliminar as interferências e deixar apenas o objeto de estudo (Figura 57).

Figura 57 - Construção da nuvem esparsa “crua” no Processo 02



Fonte: Próprio autor (2020).

Figura 58 - Nuvem esparsa após limpeza de interferências do modelo no Processo 02



Fonte: Próprio autor (2020).

- Construção da nuvem densa: a execução do preenchimento dos vazios da nuvem esparsa gerou 2073382 pontos e possibilitou o modelo representado na Figura 58.

Figura 59 - Nuvem densa gerada no Processo 02



Fonte: Próprio autor (2020).

- Construção do modelo 3D: o modelo tridimensional já com textura para o Processo 02 está representado na Figura 51. Nele, foram geradas 414665 faces.

Figura 60 - Geração do modelo 3D no Processo 02



Fonte: Próprio autor (2020).

O modelo 3D apresentado no Processo 02 possui uma distorção ainda maior que a apresentada no Processo 01, tornando o modelo mais distante do real e prejudicando mais sua qualidade. Essa divergência da realidade se dá devido à forma como as fotos são obtidas, pois elas capturaram apenas o mapeamento do edifício,

não sendo possível captar as fachadas com precisão. Dessa forma, ao processar as fotos, o programa entende que existe um sólido naquele local e faz uma suposição de como seria sua formação, não formando dados com exatidão. Portanto, o modelo obtido não possibilita a identificação de patologias

- Construção do ortomosaico: como o modelo tridimensional não apresentou nitidez das fachadas, não se fez necessário gerar os ortomosaicos destas, já que elas seriam distantes da realidade.

7.2.3 Adobe Photoshop Lightroom Classic

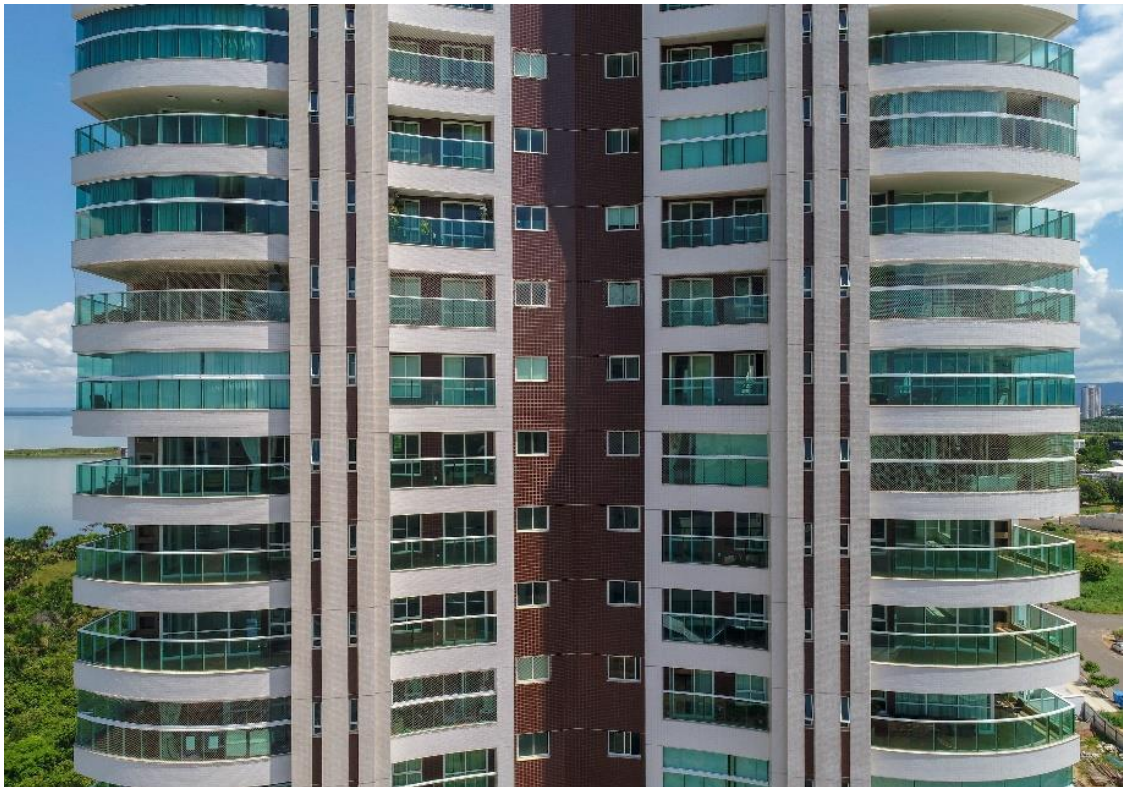
As Figuras 61 a 64 compreendem os panoramas formados no *Adobe Photoshop Lightroom Classic* para as fachadas frontal, lateral direita, lateral esquerda e traseira, respectivamente. Como este *software* nos permite três opções de panoramas (esférico, cilíndrico e perspectiva), foram escolhidas, para cada fachada, a projeção que promoveu a melhor mesclagem de imagens.

Figura 61 – Panorama fachada frontal projeção cilíndrica no *Lightroom Classic*



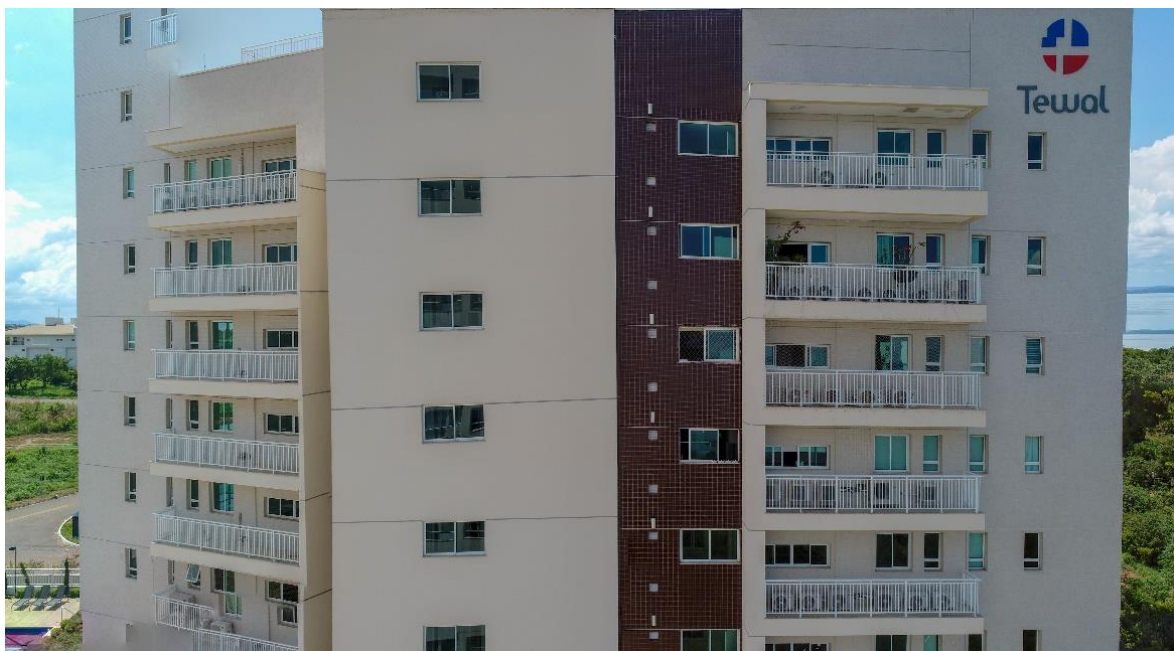
Fonte: Próprio autor (2020).

Figura 62 - Panorama fachada lateral direita projeção perspectiva no *Lightroom Classic*



Fonte: Próprio autor (2020).

Figura 63 - Panorama fachada lateral esquerda projeção perspectiva no *Lightroom Classic*



Fonte: Próprio autor (2020).

Figura 64 - Panorama fachada traseira projeção cilíndrica no *Lightroom Classic*



Fonte: Próprio autor (2020).

A construção dos panoramas não obteve bons resultados para a pesquisa. A mesclagem das fotos não ocorreu conforme o esperado, e supõe-se dois motivos para essa falha: pelo fato de as fotos terem sido tiradas todas na mesma posição, pois o panorama ocorre melhor quando há uma percepção de profundidade com relação ao mesmo objeto. E também pelo fato de que os pavimentos tipo são muito parecidos, dessa forma, o programa os entendia como os mesmos pontos e sobrepunha as fotos, fazendo com que na maioria dos panoramas encontrados, aparecesse apenas a parte central de cada fachada.

7.2.4 *Kolor Autopano Giga*

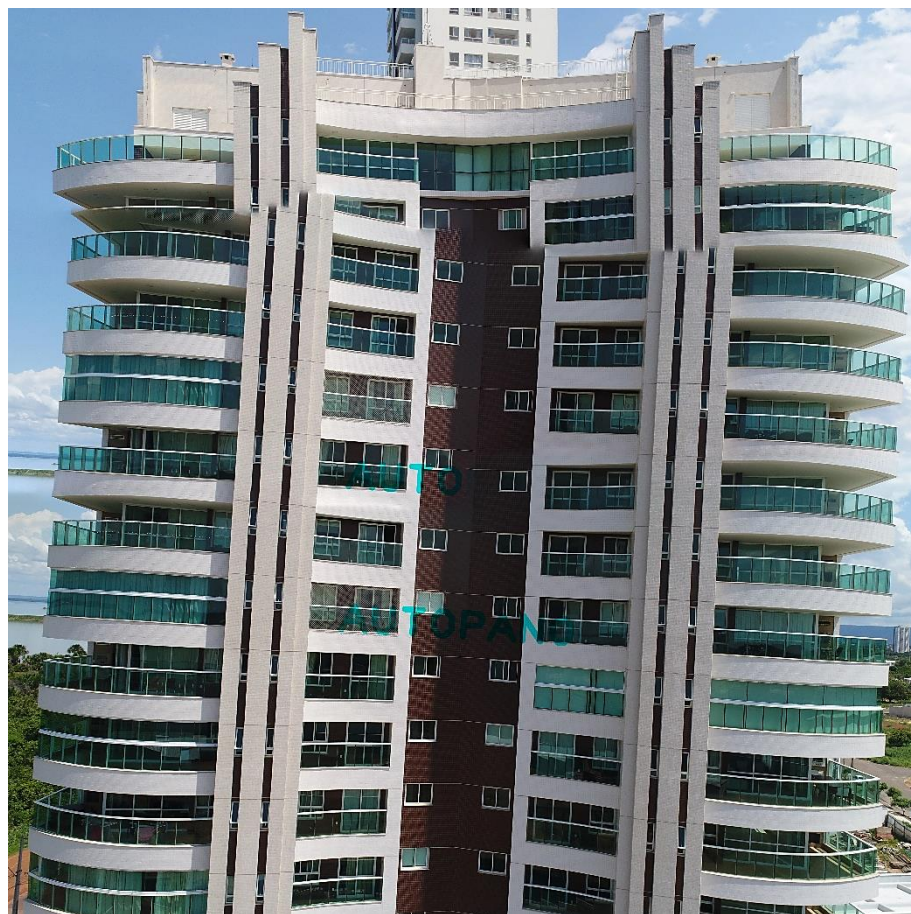
Assim como o *Lightroom*, com o *Kolor* ocorreu o mesmo erro no processamento das fotos panoramas. Dessa forma, as imagens geradas apresentaram muita distorção, não fornecendo também bons resultados, principalmente para o objetivo deste trabalho, que é a visualização de patologias. Os panoramas de cada fachada estão representados a seguir, nas Figuras de 65 a 68.

Figura 65 - Panorama fachada frontal no Kolor



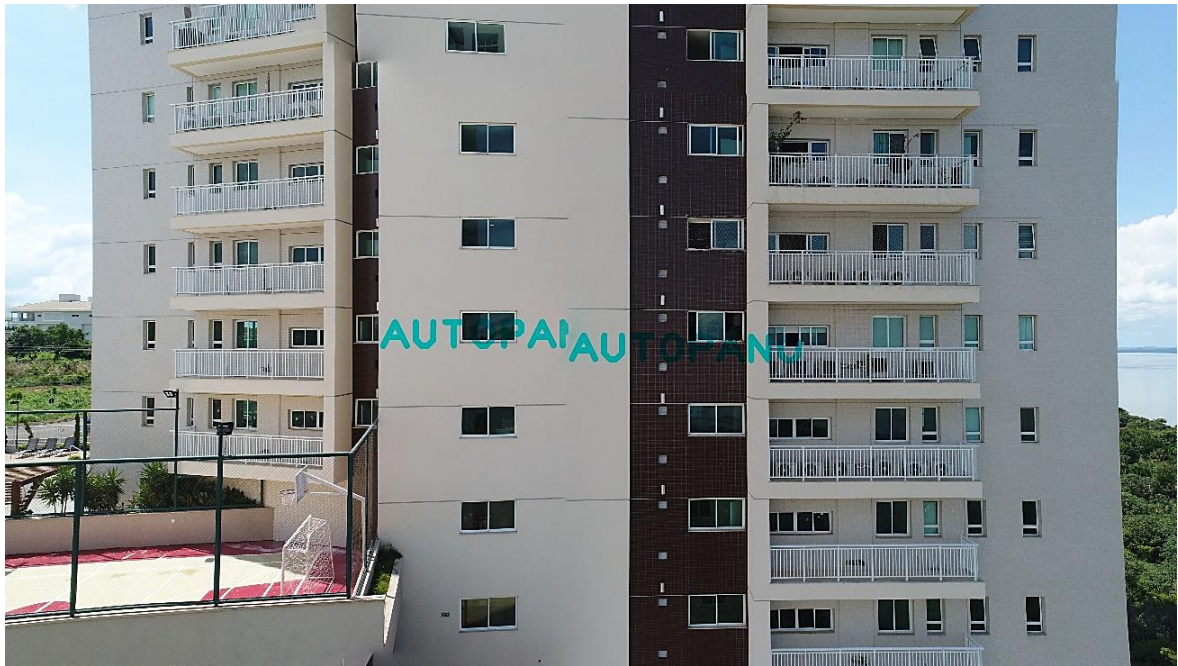
Fonte: Próprio autor (2020).

Figura 66 - Panorama fachada lateral direita no Kolor



Fonte: Próprio autor (2020).

Figura 67 - Panorama fachada lateral esquerda no *Kolor*



Fonte: Próprio autor (2020).

Figura 68 - Panorama fachada traseira no *Kolor*



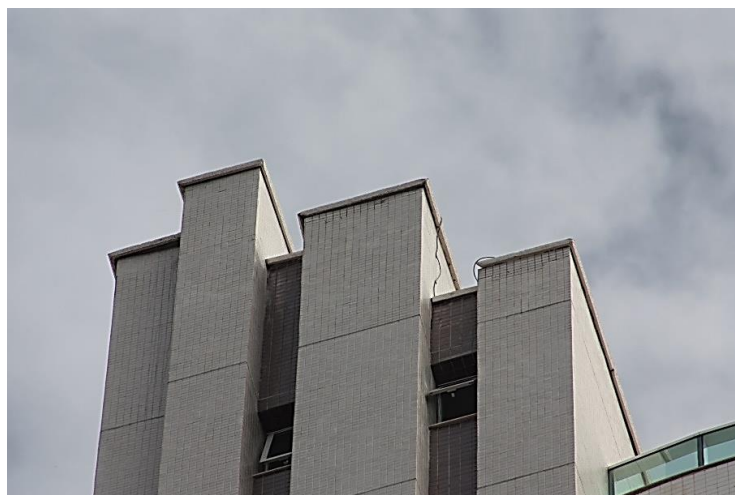
Fonte: Próprio autor (2020).

7.3 Inspeção tradicional *in loco*

O método tradicional de inspeção possibilitou a visualização das patologias das fachadas de forma mais perceptível. O zoom da câmera fotográfica permitiu analisar detalhadamente cada ponto das fachadas e capturar as manifestações patológicas que ocorrem nelas.

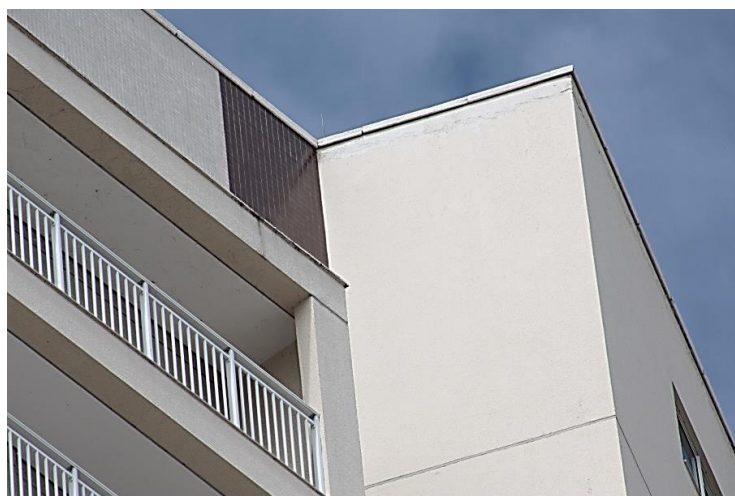
Abaixo estão alguns dos resultados obtidos pela inspeção tradicional (Figura 69,70 e 71). Não serão apresentadas neste tópico todas as imagens resultantes desse método de inspeção pois, no item 7.5 será feita a classificação detalhada de todas as patologias encontradas.

Figura 69 - Resultado inspeção tradicional na fachada lateral direita



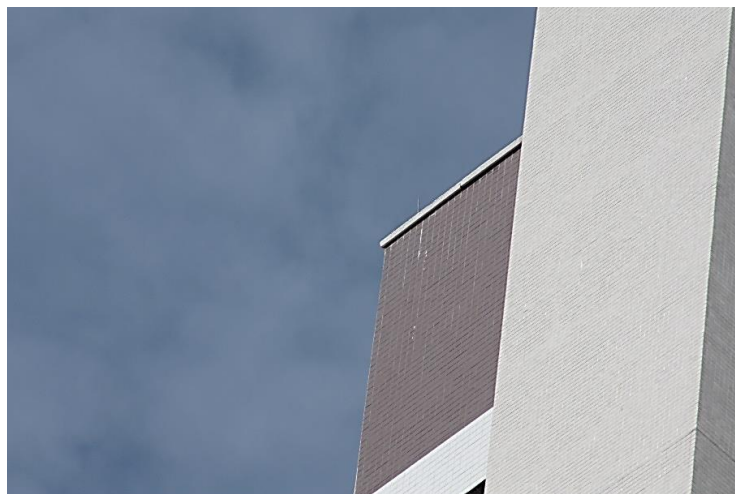
Fonte: Próprio autor (2020).

Figura 70 - Resultado inspeção tradicional na fachada lateral esquerda



Fonte: Próprio autor (2020).

Figura 71 - Resultado inspeção tradicional na fachada traseira



Fonte: Próprio autor (2020).

7.4 Comparação entre os métodos de inspeção

Para o método de vistoria com uso de VANTs, se tratando de fatores como tempo e preço, temos que para realização da pesquisa, foram gastos aproximadamente 32 minutos para captura das fotos; e de acordo com a *CallDrone* (Anexo A), o orçamento para uma diária com o drone, juntando-se remuneração mínima do equipamento, mão de obra e cursos do piloto, é de R\$ 4.394,67, portanto, a hora para tal serviço custa R\$549,33. Já se tratando do fator qualidade, as imagens obtidas apresentam qualidade surpreendente, com algumas chegando a ter GSD de 0,4 cm/pixel, e sendo possível identificar as manifestações patológicas ocorrentes no edifício. No entanto, ao se fazer a modelagem tridimensional do edifício (nas condições propostas), o *Agisoft Metashape*, não propicia a mesma qualidade para que haja uma nitidez no modelo e, conseqüentemente, possibilidade de identificação de patologias. Ademais, o tempo gasto para construção do modelo 3D foi de cerca de 1 semana. Outro fator importante é que a elaboração de panoramas com o *Lightroom Classic* e o *Kolor* também se apresentou falha, pois não atingiu os resultados esperados e não permitiu a visualização de problemas patológicos. O tempo gasto para criação de todos os panoramas foi de cerca de 1 hora.

Por outro lado, o método de inspeção tradicional obteve para o fator tempo o resultado de 31 minutos, e para o valor da hora da vistoria (Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia - SP) o resultado de R\$430,00, conforme

apresentado no Anexo B. Além disso, as patologias das fachadas se mostraram bastante visíveis neste método, sendo possível identificá-las e classificá-las.

A comparação dos dois métodos de inspeção se encontra resumida abaixo na Tabela 3.

Tabela 3 – Comparação entre os métodos de inspeção

	Uso de VANTs			Inspeção tradicional
	Fotos	Modelo 3D/ ortoimagens	Panoramas	
Tempo	32 min	1 semana	1 hora	31 min
Valor (hora)	R\$ 549,33	-	-	R\$ 430,00
Visibilidade de patologias	Sim	Pouca visibilidade	Não	Sim

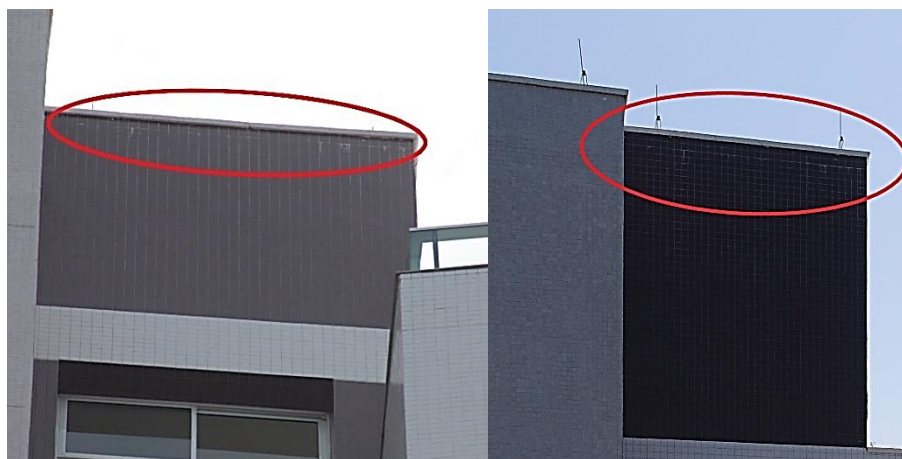
Fonte: Próprio autor (2020).

7.5 Classificação das patologias

O edifício de estudo não apresentou muitas patologias visíveis no seu revestimento, principalmente por se tratar de um prédio novo e de alto padrão, além disso, a maioria das manifestações identificadas se encontraram próximo à cobertura. As imagens a seguir contém, em sua maioria, ambas as imagens obtidas pelo drone e pela inspeção tradicional, não contendo apenas aquelas cuja luminosidade não beneficiaram a visualização da patologia.

- Eflorescências, conforme apresentado nas Figuras de 72 a 76.

Figura 72 – Eflorescências na fachada frontal - máquina tradicional (esq.) e com drone (dir.)



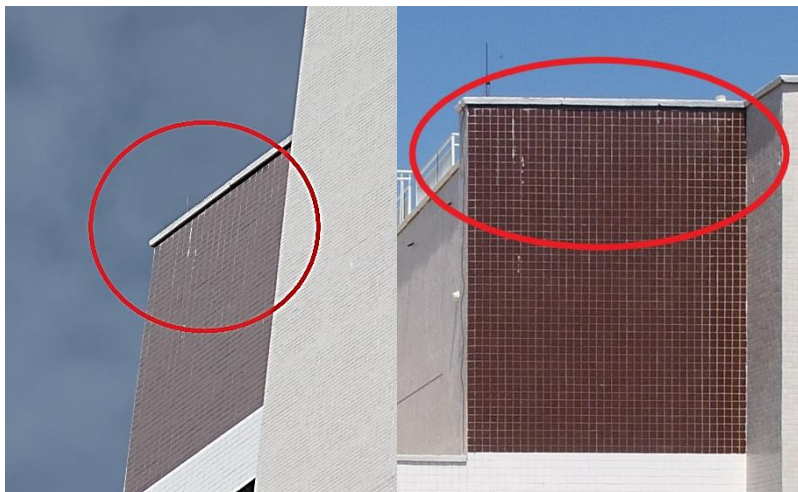
Fonte: Próprio autor (2020).

Figura 73 – Eflorescência na fachada lateral esquerda (máquina tradicional)



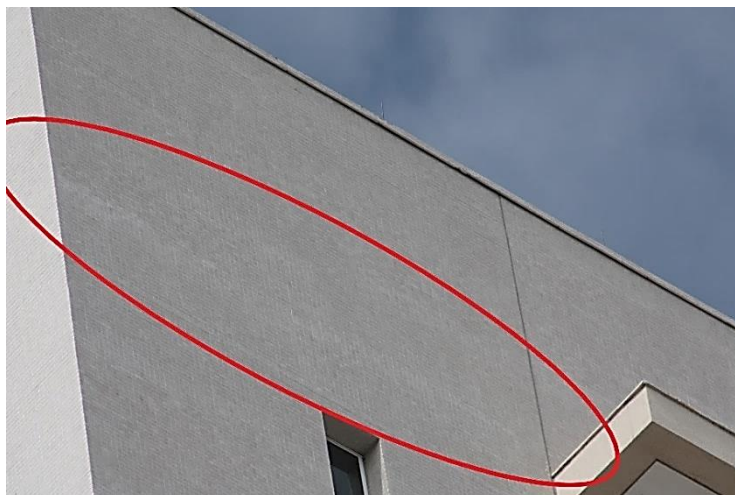
Fonte: Próprio autor (2020).

Figura 74 – Eflorescência na fachada traseira - máquina tradicional (esq.) e com drone (dir.)



Fonte: Próprio autor (2020).

Figura 75 – Eflorescência no revestimento da fachada lateral esquerda



Fonte: Próprio autor (2020).

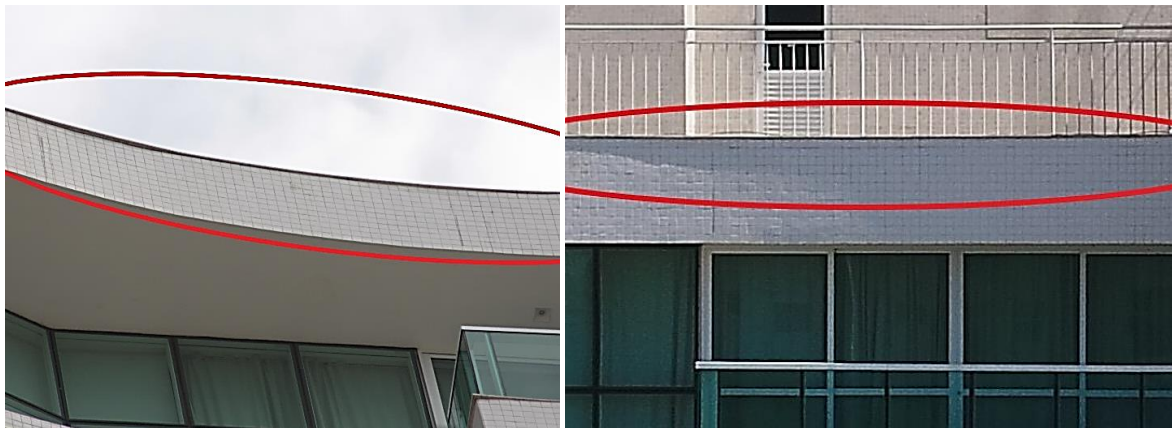
Figura 76 - Eflorescência na fachada lateral esquerda - máquina tradicional (esq.) e com drone (dir.)



Fonte: Próprio autor (2020).

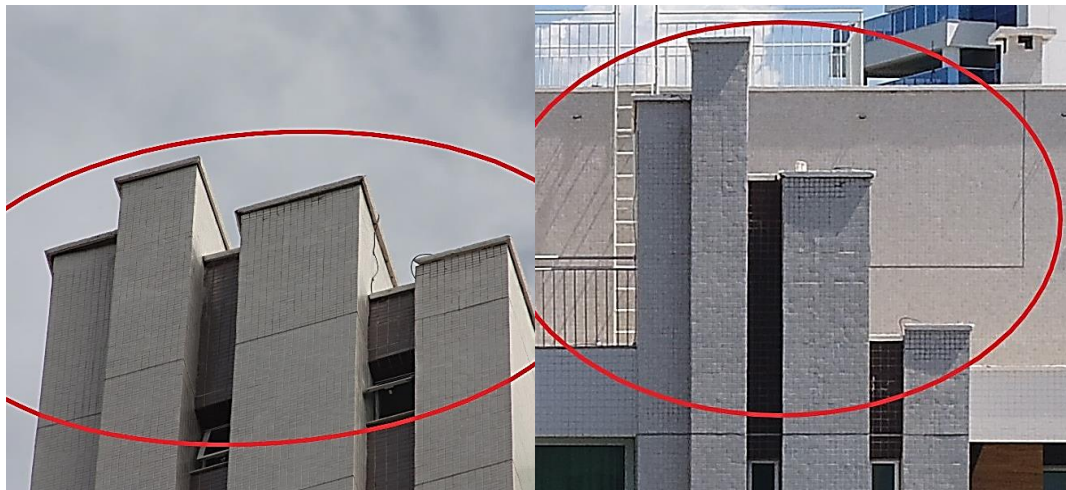
- Sujidade (Figuras 77, 78 e 81).

Figura 77 – Sujidade na fachada lateral direita - máquina tradicional (esq.) e com drone (dir.)



Fonte: Próprio autor (2020).

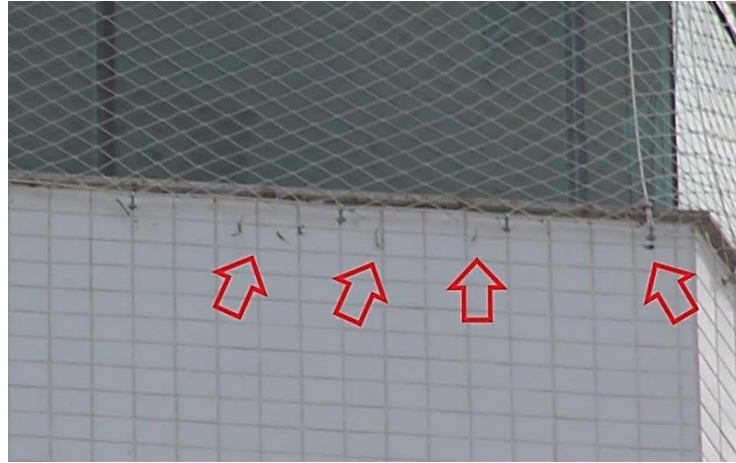
Figura 78 - Sujidade na fachada lateral direita - máquina tradicional (esq.) e com drone (dir.)



Fonte: Próprio autor (2020).

- Fissuras no revestimento cerâmico, conforme apresentado na Figura 79.

Figura 79 – Revestimentos com fissuras na fachada frontal



Fonte: Próprio autor (2020).

- Dilatação térmica diferencial com ruptura do sistema de pintura (Figuras 80 e 81).

Figura 80 – Dilatação térmica diferencial com ruptura da pintura na fachada lateral esquerda - máquina tradicional (esq.) e com drone (dir.)



Fonte: Próprio autor (2020).

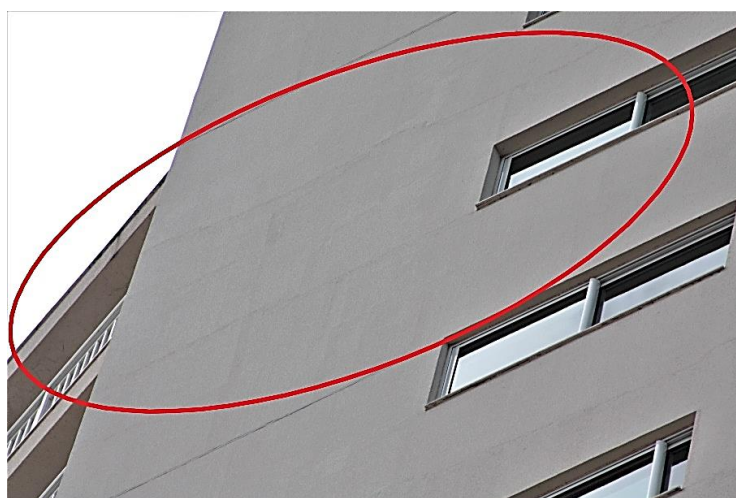
Figura 81 – Sujidade e dilatação térmica diferencial na fachada lateral esquerda - máquina tradicional (esq.) e com drone (dir.)



Fonte: Próprio autor (2020).

- Fissuras horizontais provenientes da dilatação térmica diferencial, expansão higrotérmica e umidade (Figura 82).

Figura 82 - Fissuras horizontais na fachada lateral esquerda



Fonte: Próprio autor (2020).

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao se levar em consideração os fatores analisou-se que, para a metodologia utilizada, o método de inspeção com o uso de VANTs não se mostrou tão eficiente, pois o tempo total gasto para captura e processamento das fotos é bastante superior ao método tradicional, além da qualidade do modelo tridimensional gerado e

das panoramas não ser boa o suficiente para visualização das patologias nas fachadas. No entanto, a alta qualidade das imagens levou-se à percepção de que o método foi utilizado de forma imprópria, pois deveria focar nas imagens obtidas pela câmera do drone, já que ela possui qualidade melhor que a da lente teleobjetiva e preços bastante próximos.

Sendo assim, conclui-se que a forma correta de se analisar o processo é através da utilização das ortoimagens e do modelo 3D apenas como referência para o mapeamento das patologias, ou seja, inicialmente, após obtidas as imagens com o drone, realizar uma observação de cada foto para visualizar as patologias ocorrentes no edifício de estudo. Em seguida, gerar o modelo tridimensional e as ortoimagens onde, enfim, deverão ser marcados os pontos onde ocorrem as manifestações patológicas, para se obter uma macro visualização de todo o processo e dos fenômenos. Os panoramas não entram nesse método, pois não apresentaram significância para o resultado.

Além disso, a fim de melhorar a qualidade do modelo, recomenda-se utilizar em todas as etapas a qualidade ultraelevada e, após gerar a nuvem esparsa, redimensionar a região no *software* para limitar a área de estudo, para reduzir as interferências exteriores e reduzir o tempo de processamento. Ao final do trabalho, foi adquirido pelo *campus* do Instituto Federal do Tocantins um novo equipamento computacional com maior poder de processamento, no qual pôde-se perceber que a modelagem com a qualidade ultraelevada e maior nível de pontos realmente resulta em imagens de modelo mais nítidas e de melhor representatividade.

Já com relação à obtenção das imagens, a programação de voo que possibilita a melhor qualidade para o conjunto de fotos, é a dada pelo *DJI GS Pro* através do *Circle Mode*, o qual promoveu a captura do edifício ao longo de todo seu perímetro. Outro ponto importante é que as condições climáticas influenciam muito na resolução, uma vez que, tempos nublados, propiciam maior claridade às fotos.

Foi possível também inferir que o sentimento técnico do engenheiro para conclusão e análise das patologias é um fator preponderante, pois, ainda se necessita da sua técnica e percepção para realizar os diagnósticos das manifestações ocorrentes nos edifícios.

Ademais, se tratando das patologias encontradas, conforme já citado anteriormente, o edifício de estudo não apresentou patologias significantes, tendo apenas eflorescências, sujidade, algumas fissuras decorrentes de movimentação

higrotérmica e outras causadas pela instalação da rede de proteção, além de dilatações térmicas diferenciais próximo à cobertura.

9 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir dos resultados e conclusões obtidas nessa pesquisa, recomenda-se:

- Replicar o trabalho seguindo a metodologia proposta nas considerações finais;
- Replicar o trabalho com auxílio de novas programações de voo para captura das imagens;
- Replicar o trabalho com auxílio de novos *softwares* para processamento das imagens;
- Exportar o modelo tridimensional para outros programas, como o *SketchUp*, para analisar se as medidas do *Metashape* são distorcidas ou próximas do real, além de medir patologias eventualmente encontradas, como fissuras;
- Criação de novos *softwares* que realizem a captura e o processamento das imagens.

REFERÊNCIAS

ADOBE. **Guia do Usuário do Lightroom Classic**. 2019. Disponível em: <<https://helpx.adobe.com/br/lightroom-classic/user-guide.html>>. Acesso em: 19 nov. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Orientações para usuários de drones**. 1.ed. Brasília: ASCOM, 2017. 24 p.

Agisoft. **Agisoft Metashape User Manual: Professional Edition, Version 1.5**. 1ª edição - [S.l.]: [s.n.], 2019.

AGISOFT LLC. **Features – Professional Edition**. Disponível em: <<https://www.agisoft.com/features/professional-edition/>>. Acesso em: 31 out. 2019

AMORIM, A. L. Fotogrametria: uma introdução. In: PRATINI, E. F.; SILVA, E. A. **Criação, Representação e Visualização Digitais**. Brasília: Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13755: Revestimentos cerâmicos de fachadas e paredes externas com utilização de argamassa colante – Projeto, execução, inspeção e aceitação - Procedimento**. Rio de Janeiro. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15757: Edificações habitacionais — Desempenho, Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15757: Edificações habitacionais — Desempenho, Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE**. Rio de Janeiro. 2013.

BLOGEQUILOC. **O que é eflorescência e como resolver esse problema?** 2019. Disponível em: <<http://locadoraequiloc.com.br/blog/o-que-e-eflorescencia-e-como-resolver-esse-problema/>>. Acesso em: 26 nov. 2019.

BORGES, Raphael de Oliveira et al. UTILIZAÇÃO DE DRONES DE PEQUENO PORTE COMO ALTERNATIVA DE BAIXO CUSTO PARA CARACTERIZAÇÃO TOPOGRÁFICA DA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES NO BRASIL. In: CONFERENCE: XXVII CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 27., 2017, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos**. Rio de Janeiro: Sbc, 2017. p. 1 - 5. Disponível em: <<http://www.cartografia.org.br/cbc/2017/trabalhos/4/635.html>>. Acesso em: 11 out. 2019.

BRASIL. Criação da Agência Nacional de Aviação Civil. **Lei nº 11.182**. Brasília, 2005.

BUENO, Carlos Frederico, 2000. **Tecnologia dos materiais de construção**. Disponível em: http://www.ufv.br/dea/ambiagro/arquivos/materiais_construcao.pdf. Acesso em: 04 fev. 2020.

C. Eschmann et al. **Unmanned aircraft systems for remote building inspection and monitoring**. *Proc. Int. Workshop Struct. Health Monitor.*, pp. 1179-1186, 2012.

CALLDRONE. **Calculo de Formação de Preço do Orçamento**. São Paulo: Calldrone Filmagens Ltda, 2019.

CAMPITELI, Maurício. **Entenda o Fluxo de Trabalho no Agisoft Metashape**. 2017. Disponível em: <<http://blog.droneng.com.br/entenda-o-fluxo-de-trabalho-no-agisoft-metashape/>>. Acesso em: 05 nov. 2019.

CARDOSO, Pedro. **Adobe Photoshop Lightroom Classic para editar suas fotos**. 2017. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/tudo-sobre/adobe-photoshop-lightroom.html>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

CASOTTI, Denis Eduardo, 2007. **Causas e recuperação de fissuras em alvenaria**. Universidade de São Francisco. Disponível em: <http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/1061.pdf>. Acesso em: 04 fev. 2020.

CHAVES, A. M. V. A. **Patologia e reabilitação de revestimentos de fachadas**. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, 2009.

COSTA, M. S. (2014). **Identificação de Danos em Fachadas de Edificações por meio de Imagens Panorâmicas Geradas por Plataforma Robótica Fotográfica**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-007/14,

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 184p.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO. **ICA 100-40: AERONAVES NÃO TRIPULADAS E O ACESSO AO ESPAÇO AÉREO BRASILEIRO**. Brasília: Bca, 2018. 56 p.

DJI. **New app from DJI: DJI GROUND STATION PRO**. 2017. Disponível em: <<https://forum.dji.com/thread-78947-1-1.html>>. Acesso em: 05 nov. 2019.

DJI. DJI GS PRO User Manual. 1ª edição - [S.l.]: [s.n.], 2018.

DJI. **DJI GS PRO**. 2019. Disponível em: <<https://www.dji.com/br/ground-station-pro>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

DRONEDEPLOY. **Perguntas frequentes**. 2019. Disponível em: <<https://support.dronedeploy.com/docs>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

DronEng. **Guia rápido do DroneDeploy**. 1ª edição - [S.l.]: [s.n.], 2019.

DRONE VISUAL. **PIX4D**. 2019. Disponível em: <<https://www.dronevisual.com/software-pix4d>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

FERREIRA, B. B. D.; SILVA, A. de P.; CARVALHO JUNIOR, A. N de. **Tipificação de patologias em revestimento argamassado**, Belo Horizonte, v. 2, n. 1, p. 40-43, janeiro, 2010.

FREITAS, Antônio Henrique Correa de; FRANÇA, Poliana Miranda; FRANÇA, Tamiris Miranda. **PATOLOGIA DE FACHADAS**. **Revista Pensar: Engenharia**, Belo Horizonte, p.1-11, jul. 2013.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. 1993. 231p. Tese (Titulação de Professor Livre Docente) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

HORUS. **Qual o GSD ideal para cada resultado?** 2018. Disponível em: <<https://horusaeronaves.com/qual-o-gsd-ideal-para-cada-resultado/>>. Acesso em: 14 nov. 2019.

IBAPE-SP. **REGULAMENTO DE HONORÁRIOS PARA AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA Aprovado pela Assembleia Geral Ordinária de 09/04/2019**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

International Standard ISO 15686-2 (2001). Buildings and constructed assets - service life planning - Part 2: Service life prediction procedures, Geneve.

KOLOR. **Shooting a panorama – the basics**. 2014. Disponível em: <https://www.kolor.com/wiki-en/action/view/Autopano_-_Tutorials_-_Quick_Start_Guide>. Acesso em: 15 nov. 2019.

KOUTSOUDIS, A. et al. Multi-Image 3D Reconstruction Data Evaluation. **Journal of Cultural Heritage**, v. 15, n. 1, p. 73-79, jan./feb. 2014.

LEITE, Taís Correia. Integração de levantamento fotogramétrico aéreo com o uso de Vant e levantamento fotogramétrico terrestre para o mapeamento tridimensional das

ruínas de São Miguel das Missões. In: PRUDKIN, Gonzalo; BREUNIG, Fábio M.. **DRONES E CIÊNCIA: Teoria e aplicações metodológicas**. Santa Maria: Cosac & Naify, 2019. p. 1-126.

LOPES, Benedito Arruda Ribeiro. PERÍCIA DE ESTRUTURAS. In: CLÍMACO, João Carlos Teatini de S. et al. **PATOLOGIA E PERÍCIA DE ESTRUTURAS DE CONCRETO**. Brasília: [s.n.], 2000. p. 1-213.

MACDONALD, Susan. Introduction. In: MACDONALD, Susan et al. **BUILDING PATHOLOGY**. Oxford: Blackwell Science, 2003. p. 1-330.

MELO JÚNIOR, C. M.; EVANGELISTA JUNIOR, F.; SILVA, L. S. da; NEPOMUCENO, A. A. **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, jul./set. 2018.

NEPOMUCENO, Antônio Alberto. CONCEITUAÇÃO DE DURABILIDADE E VIDA ÚTIL DE ESTRUTURAS. In: CLÍMACO, João Carlos Teatini de S. et al. **PATOLOGIA E PERÍCIA DE ESTRUTURAS DE CONCRETO**. Brasília: [s.n.], 2000. p. 1-213.

NICHOLAS, Abala. **ASSESSING THE USE OF DRONES IN INSPECTIONS OF PROPERTY VALUATION FOR TAX ASSESSMENT**. 2018. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engineering, Construction Economics And Management, Makerere University, Kampala, 2018.

NORMA EUROPEIA. **EN 1992-1-1:2004**: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings. 1 ed. Brussels: Ice Publishing, 2014. 227 p.

OLIVEIRA, Ademar. **Tratamento de fissuras**. 2016. Disponível em: <<http://www.engenheiroademar.com.br/noticias/15,0,/tratamento-de-fissuras.html>>. Acesso em: 26 nov. 2019.

PEDRO, E. G. et al. **Patologia em revestimento cerâmico de fachada**. 2002. 114p. Monografia (Pós-graduação em Engenharia de Avaliações e Perícias) – Faculdade de engenharia e arquitetura, Belo Horizonte, 2002.

PIX4D. **Free drone flight planning app for optimal 3D mapping and modeling**. 2019. Disponível em: <<https://www.pix4d.com/product/pix4dcapture>>. Acesso em: 05 nov. 2019.

PIX4D. **Ground sampling distance (GSD)**. 2019. Disponível em: <<https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202559809-Ground-sampling-distance-GSD>>. Acesso em: 14 nov. 2019.

PRUDKIN, Gonzalo. Drones: su origen y aplicación en el periodismo contemporáneo para generación de contenidos en 3D. In: PRUDKIN, Gonzalo; BREUNIG, Fábio M.. **DRONES E CIÊNCIA: Teoria e aplicações metodológicas**. Santa Maria: Cosac & Naify, 2019. p. 1-126.

REJADO, Cristina Cuerno. Origen y desarrollo de los Sistemas de Aeronaves Pilotadas por Control Remoto. In: HERREROS, Jose Luis Esteban et al. **Los Drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil**. Madrid: Gráficas Arias Montano, S. A, 2015. p. 1-242.

RODRIGUEZ-NAVARRO, Pablo; PIQUERAS, Teresa Gil; VERDIANI, Giorgio. **Architectural Draughtsmanship: From Analog to Digital Narratives**. Alcalá de Henares: Springer, 2018.

ROMERO, Dr. Ing. José Antonio Valles. **The use of geofences and drones in logistic**. 2016. Disponível em: <https://www.academia.edu/30296655/The_use_of_geofences_and_drones_in_logistics>. Acesso em: 07 nov. 2019.

SANTOS, Altair. **Patologias em argamassas vão além das fissuras**. 2016. Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/patologias-argamassas/>>. Acesso em: 26 nov. 2019.

SANTOS, Daniel Rodrigues dos. Considerações iniciais. In: SANTOS, Daniel Rodrigues dos. **Fotogrametria I**. Curitiba: [s.n.], 2009. p. 1-41.

SEGAT, Gustavo Tramontina. **MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS OBSERVADAS EM REVESTIMENTO DE ARGAMASSA: ESTUDO DE CASO EM CONJUNTO HABITACIONAL POPULAR NA CIDADE DE CAXIAS DO SUL**. 2015. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caxias do Sul, 2015.

SILVA NETO, Manoel. **Para que serve o GSD?** 2016. Disponível em: <<http://blog.droneng.com.br/gsd/>>. Acesso em: 14 nov. 2019.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1998. 257 p.

TAVANI, S. et al. 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.

WATT, David S.. **BUILDING PATHOLOGY**. 2. ed. Oxford: Blackwell Publishing, 2007. 320 p.

ANEXO A – Cálculo de formação de preço do orçamento para aluguel de drone (adaptado de CallDrone, 2019)

	Duração do Serviço	Diária
	Remuneração Mínima do Equipamento	R\$ 844,67
	Remuneração Mínima do Cursos	R\$ 93,33
	Mão de Obra Piloto	R\$ 500,00
Custo Fixo	R\$ 210,00	
	Aluguel	R\$ 0,00 R\$ 0,00
	Água	R\$ 0,00 R\$ 0,00
	Telefone	R\$ 30,00 R\$ 0,00
	Internet	R\$ 30,00 R\$ 0,00
	Energia	R\$ 150,00 R\$ 0,00
	Seguro Obrigatório	R\$ 0,00 R\$ 0,00
	Software de Edição	R\$ 0,00 R\$ 0,00
	Site	R\$ 0,00 R\$ 0,00
Custo Variáveis	R\$ 0,00	
	Gasolina	R\$ 0,00
	Pedágio	R\$ 0,00
	Hotel	R\$ 0,00
	Alimentação	R\$ 0,00
	Passagem Ônibus	R\$ 0,00
	Passagem Avião	R\$ 0,00
	Aluguel de Carro	R\$ 0,00
Subtotal	R\$ 1.648,00	
	Margem de Lucro %	100%
	Margem de Lucro Reais	R\$ 1.648,00
Total Antes do Imposto		
	Total	R\$ 3.296,00
Imposto		
	Alíquota Simples Nacional	25%
	Em Reais	R\$ 1.098,67
Total Depois do Imposto		
	Total	R\$ 4.394,67

ANEXO B - Composição do valor da hora técnica básica para vistorias de engenharia (adaptado de Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia – IBAPE/SP, 2019)

O valor da hora-técnica profissional é definido por uma parcela referente à remuneração propriamente dita e também pelos custos indiretos inerentes ao exercício da atividade profissional, conforme demonstrativo abaixo.

**Composição do Valor da Hora Técnica Básica
2019**

1 DESPESAS DIRETAS

- 1.1 Tarifas e Serviços R\$ 1.600,00
- 1.2 Mão de obra administrativa com encargos sociais R\$ 12.355,66
- 1.3 Despesas de escritório R\$ 5.729,25
- 1.4 Transporte R\$ 4.693,88
- 1.5 Depreciação do ativo imobilizado R\$ 471,12
- 1.6 Custos financeiros R\$ 436,66
- 1.7 Reposição de IR e ISS sobre despesas R\$ 12.175,02
- Subtotal** R\$ 37.461,59

2 REMUNERAÇÃO

- 2.1 Remuneração mensal R\$ 19.000,00
- 2.2 Benefícios (Férias, 13º salário, FGTS, seg. saúde) R\$ 7.305,73
- 2.3 Reposição de ISS sobre remuneração R\$ 1.384,51
- Subtotal** R\$ 27.690,24

3 VALOR DA HORA TÉCNICA

- 3.1 Parcela relativa às despesas (item 1/160h) R\$/h 234,13
- Parcela relativa à remuneração (item 2/160h) R\$/h 173,064
- Valor da hora técnica calculada R\$/h 407,20
- Valor inflação 2018-2019 (IPCA) % 6,8458
- Valor da hora técnica calculada 2019 R\$/h 435,08

Valor aprovado – hora técnica básica R\$/h 430,00

Por decisão da Assembleia o valor foi fixado em R\$ 430,00 por hora.