

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

Tiago de Castro Hardy

**Título:** O uso de aeronaves remotamente pilotadas em protocolos de monitoramento, diagnóstico e documentação científica para conservação do patrimônio cultural arquitetônico

Belo Horizonte  
2022

Tiago de Castro Hardy

**Título:** O uso de aeronaves remotamente pilotadas em protocolos de monitoramento, diagnóstico e documentação científica para conservação do patrimônio cultural arquitetônico

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, do Programa de pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais.

Linha de Pesquisa: **Memória e Patrimônio Cultural**

Orientador: Prof. Dr. Willi de Barros Gonçalves

Belo Horizonte  
2022

## FICHA CATALOGRÁFICA

H268u

Hardy, Tiago de Castro.

Ó uso de aeronaves remotamente pilotadas em protocolos de monitoramento, diagnóstico e documentação científica para conservação do patrimônio cultural arquitetônico [recurso eletrônico] / Tiago de Castro Hardy. - 2022.

1 recurso online (140 f. il.), pdf.

Orientador: Willi de Barros Gonçalves.

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

1. Fotogrametria aérea – Teses. 2. Patrimônio cultural – Conservação e restauração – Teses. 3. Modelagem de informação da construção – Teses. 4. Aeronave não tripulada – Teses. I. Gonçalves, Willi de Barros. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. III. Título.

CDD 526.982

Ficha catalográfica elaborada por Andreia Soares Viana – CRB 6/2650



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

## ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

**ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO** DO(A) ALUNO(A) **Tiago de Castro Hardy**, nº de matrícula **2019712339**, DO CURSO DE MESTRADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE CONSTRUÍDO E PATRIMÔNIO SUSTENTÁVEL DA ESCOLA DE ARQUITETURA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Aos vinte e quatro dias, do mês de janeiro do ano de dois mil e vinte e dois, às nove minutos, por meio de videoconferência, reuniu-se a Comissão Examinadora de Dissertação para julgar o trabalho "O USO DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS EM PROTOCOLOS DE MONITORAMENTO, DIAGNÓSTICO E DOCUMENTAÇÃO CIENTÍFICA PARA CONSERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO CULTURAL ARQUITETÔNICO", requisito para a obtenção do grau de Mestre na área interdisciplinar de concentração em "Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável". Abrindo a sessão, o(a) orientador(a) professor(a) doutor(a) Willli de Barros Gonçalves, após expor as Normas Regulamentares do Trabalho Final pediu para o(a) aluno(a) iniciar a apresentação do trabalho. Seguiu-se arguição pelos examinadores com a respectiva defesa do(a) candidato(a). Logo após a comissão reuniu-se, sem a presença do(a) mestrando(a) e do público, para julgamento e expedição do seguinte resultado:

- Aprovação  
 Aprovação com solicitação das revisões constantes nesta ata.  
 Reprovação

O resultado final foi comunicado publicamente ao(à) candidato(a) pelo Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ata, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora.

**Profa. Dra. Ana Regina Mizrahy Cuperschmid**  
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

**Prof. Dr. Luiz Antonio Cruz Souza**  
Escola de Belas Artes/UFMG

**Prof. Dr. Willli de Barros Gonçalves** - Orientador  
PPG-ACPS/UFMG

**Belo Horizonte, 24 de janeiro de 2022.**

Homologado pelo Colegiado do Programa dos cursos de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável:

**Profa. Dra. Renata Maria Abrantes Baracho Porto** - "Ad Referendum"  
Coordenadora do PPG-ACPS

Assinatura dos membros da banca examinadora:



Documento assinado eletronicamente por **Ana Regina Mizrahy Cuperschmid, Usuário Externo**, em 25/01/2022, às 16:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Willli de Barros Goncalves, Professor do Magistério Superior**, em 27/01/2022, às 11:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Renata Maria Abrantes Baracho Porto, Coordenador(a) de curso de pós-graduação**, em 04/04/2022, às 11:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luiz Antonio Cruz Souza, Professor do Magistério Superior**, em 01/12/2023, às 14:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1209900** e o código CRC **E59AE69F**.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu avô Raphael Hardy Filho (*in memoriam*), que me inspirou no universo da arquitetura.

Ao meu tio José Carlos Laender (*in memoriam*), pela parceria, ensinamentos, incentivo e dedicação pela arquitetura.

Aos meus pais George e Heliana, por todo apoio, incentivo e formação.

À minha amada esposa Manoela, não apenas por sua ajuda, mas também seu companheirismo e amor, sem ela este trabalho não teria sido concluído.

Aos meus filhos Felipe e Joana, por terem tido paciência comigo e me apoiarem sempre.

À minha cunhada Tatiana, pela força e incentivo.

Aos meus irmãos Rafael e Paula, pela história de vida.

Aos meus amigos Leone e Welington, pelos momentos de descontração com a nossa banda de rock.

Ao meu orientador Willi de Barros Gonçalves, por me ajudar a trilhar este caminho, pelos seus ensinamentos e uma atenção inestimável.

Aos professores que participaram do meu exame de qualificação: Ana Cupershimid, Cynara Fiedler Bremer e Luiz Souza, por suas considerações.

Aos professores e funcionários da Escola de Arquitetura da UFMG.

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

À FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais.

Ao PROAP-CAPES – Programa de Apoio à Pós-Graduação.

À Pró-Reitoria de Pesquisa da UFMG.

Aos Programas de Pós-Graduação: PPG em Artes e PPG em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável.

***“As coisas são mais belas quando vistas de cima”***

Santos Dumont

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo principal investigar a utilização de aeronaves remotamente pilotadas (RPA) como ferramenta para a documentação científica, em protocolos de monitoramento e diagnóstico de conservação do patrimônio cultural arquitetônico. O estudo parte de um levantamento comparativo do estado da arte no uso integrado de tecnologias de Modelagem da Informação da Construção de Edifícios Históricos (HBIM) no mundo e particularmente no Brasil. O estudo de caso proposto trata do monitoramento de manifestações patológicas construtivas na Igreja de São Francisco de Assis, mais conhecida como Igreja da Pampulha, obra icônica da arquitetura moderna brasileira, localizada em Belo Horizonte, MG. O método proposto envolve planos de voo pré-programados, georreferenciados e com pontos de controle em solo, processamento digital de imagens e nuvens de pontos e tratamento de modelos computacionais tridimensionais com vistas à identificação e caracterização de alterações no estado de conservação e nas patologias investigadas em diferentes partes do edifício. Os resultados abrangem o desenvolvimento e experimentação de protocolos de monitoramento, diagnóstico e documentação científica, que possam servir como base para tomadas de decisão em rotinas e processos de conservação preventiva, curativa e restauração no caso estudado. O método envolve técnicas de fotogrametria realizada com RPA, análise das imagens digitais obtidas com medição vetorial no programa QGIS, comparação por meio de técnicas de binarização e reconhecimento de pixels, em imagens Raster. O estudo conclui que os métodos empregados se mostraram eficazes para o monitoramento da patologia construtiva (fissura) na cúpula da Igreja de São Francisco de Assis, ainda que apresentem limitações quanto à precisão das métricas obtidas. O método vetorial revelou-se suscetível a erros decorrentes da marcação manual do contorno, enquanto o método matricial apresentou uma imprecisão de aproximadamente dois centímetros quadrados, relacionada ao tamanho do pixel utilizado. Ressalta-se, contudo, que este último método possui potencial para ser automatizado em aplicações futuras.

**Palavras-chave:** Modelagem da Informação da Construção de Edifícios Históricos (HBIM); Patrimônio cultural edificado – preservação; Conservação preventiva de bens culturais imóveis; Patologias construtivas – monitoramento; Fotogrametria por aeronaves remotamente pilotadas

## ABSTRACT

This work aims primarily to investigate the use of Remotely Piloted Aircraft (RPA) as a tool for scientific documentation, within protocols for monitoring and diagnosing the conservation of architectural cultural heritage. The study begins with a comparative survey of the state of the art in the integrated use of Historic Building Information Modeling (HBIM) technologies worldwide and, more specifically, in Brazil. The proposed case study focuses on monitoring constructive pathological manifestations in the Church of Saint Francis of Assisi, better known as the Igreja da Pampulha, an iconic work of Brazilian modern architecture located in Belo Horizonte, MG. The proposed method involves pre-programmed georeferenced flight plans with ground control points, digital image processing, point cloud generation, and the treatment of three-dimensional computational models aimed at identifying and characterizing changes in the conservation state and in the pathologies investigated in different parts of the building. The results encompass the development and testing of monitoring, diagnostic, and scientific documentation protocols that may serve as a basis for decision-making in preventive, curative, and restoration conservation routines and processes in the case studied. The method involves photogrammetry techniques carried out with RPA, analysis of the digital images obtained through vector measurement in the QGIS software, and comparison using binarization and pixel recognition techniques in raster images. The study concludes that the methods employed proved effective for monitoring the constructive pathology (crack) in the dome of the Church of Saint Francis of Assisi, although they present limitations regarding the accuracy of the metrics obtained. The vector method was shown to be susceptible to errors resulting from manual contour marking, while the matrix method presented an inaccuracy of approximately two square centimeters, related to the pixel size used. It is noteworthy, however, that this latter method has potential to be automated in future applications.

**Keywords:** Historic Building Information Modeling (HBIM); Built cultural heritage – preservation; Preventive conservation of immovable cultural assets; Constructive pathologies – monitoring; Photogrammetry using remotely piloted aircraft

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Uso e fluxograma das informações do patrimônio .....	19
Figura 2 – Diferentes escalas de abordagem.....	26
Figura 3 – Proposta de protocolo para documentação integrada.....	27
Figura 4 – Metodologia para tomada de decisões na gestão do Patrimônio .....	28
Figura 5 – Cronologia da inserção das tecnologias de comunicação nos Museus ...	32
Figura 6 – Modelo da Sydney Opera House .....	40
Figura 7 – Padrões de níveis BIM LoD, LOD, e LOI.....	42
Figura 8 – BIM Levels of Development (LoD).....	43
Figura 9 - Interfaces entre áreas de conhecimento na Ciência do Patrimônio .....	47
Figura 10 - Calculadora de GSD online.....	54
Figura 11 - Esquema da sobreposição de imagens para geração de imagens fotogramétricas.....	56
Figura 12 - Imagem original, e processo de detecção de bordas automático .....	60
Figura 13 – Modelo digital - departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina .....	61
Figura 14 – Detecção de pixels .....	62
Figura 15 – Monitoramento de rachadura na <i>Fortezza Vecchia em Livorno</i> (Itália) com utilização de marcadores .....	63
Figura 16 – (A) termograma; (B) fotografia digital .....	65
Figura 17 – Diferença entre imagens Raster e Vetorial.....	65
Figura 18 – Forma das feições em uma estrutura matricial .....	66
Figura 19 – Dados vetoriais.....	68
Figura 20 – Diferença entre a acurácia de Raster x Vetorial .....	69
Figura 21– Tratamento digital de imagens no software <i>DStretch</i> .....	70
Figura 22 – Tratamento digital de imagens rede neural YOLO .....	71
Figura 23 – Representação de uma imagem binária.....	72
Figura 24 – (1) Imagem Original, (2) Remover Células Brancas, (3) Imagem com fundo preto, (4) Imagem com preenchimento do interior das células, (5) Imagem com Erosão, (6) Imagem binária com máscara.....	73
Figura 25 – Procedimento básico para utilização de RPA no Brasil.....	75
Figura 26 – Modelo BIM sobrepondo a imagem da nuvem de pontos (em preto: estrutura em arame do modelo BIM - demais cores: representações advindas da nuvem de pontos).....	77
Figura 27 – Sobreposição da "nuvem de pontos" com o desenho por medição direta .....	78
Figura 28 – Vista da nuvem de pontos do exterior da Igreja do Bom Jesus .....	79
Figura 29 – Sobreposição de ortofotos no modelo BIM .....	80
Figura 30 – Fluxo de trabalho para elaboração do Modelo HBIM .....	80
Figura 31 – Modelo HBIM da Igrejinha da Pampulha.....	81
Figura 32 – Croquis de Oscar Niemeyer mostrando o Conjunto .....	82
Figura 33 – Vista aérea da Igrejinha da Pampulha .....	84
Figura 34 – Projeto original de Burle Marx para os jardins da Igreja da Pampulha...	85
Figura 35 – Diagrama compositivo da Igreja da Pampulha.....	86
Figura 36 – Desenhos de Oscar Niemeyer da Igreja da Pampulha .....	87
Figura 37 – Fachada posterior da Igreja da Pampulha/ detalhe para o painel elaborado por Portinari.....	88
Figura 38 – Patologias construtivas na cúpula da nave principal, apontadas no	

diagnóstico do projeto de restauração de 2004.....	90
Figura 39 – Corte esquemático da cobertura no restauro de 2004 .....	91
Figura 40 – Pichação na lateral esquerda da nave. ....	92
Figura 41 – Patologias visíveis a olho nu em 02/03/2021 .....	93
Figura 42 – Fluxograma de referência para o planejamento dos aerolevantamentos .....	96
Figura 43 – Planejamento do voo no aplicativo PIX4D .....	97
Figura 44 – Pontos de captura de imagens mostrados no aplicativo PIX4D .....	97
Figura 45 – Pontos de controle (alvo = 2cm).....	98
Figura 46 – Pontos de controle coordenadas em solo .....	99
Figura 47 – processo da junção das imagens obtidas nos dois voos (duplo grid e manual) no programa <i>Agisoft metashape</i> .....	102
Figura 48 – Processo de tratamento de imagens no programa Adobe Photoshop .	104
Figura 49 – Processo de binarização de imagens no software Image J.JS .....	105
Figura 50 – desenho binário da fissura sobre uma malha de 2 por 2 no programa Autocad .....	106
Figura 51 – Processo de obtenção de métricas vetoriais .....	107
Figura 52 – Resultado da nuvem de pontos da Igreja da Pampulha no software <i>Agisoft Metashape</i> .....	108
Figura 53 – Resultado da ortofoto da Igreja da Pampulha após processamento de imagens capturadas no dia 03/03/2021 .....	109
Figura 54 – Fotografia aérea, localização de patologia .....	110
Figura 55 – Detalhe de imagem da cúpula principal, capturada no terceiro voo (modo manual) .....	110
Figura 56 – Resultado da ortofoto gerada com imagens capturadas no voo manual .....	111
Figura 57 – Detalhe da fissura após a geração da ortofoto com imagens do voo manual .....	112
Figura 58 – Resultado da nuvem de pontos após processamento das imagens capturadas no voo planejado, realizado no dia 28/10/2021 .....	112
Figura 59 – Resultado da nuvem de pontos com a junção das imagens capturadas no segundo e terceiro voo.....	113
Figura 60 – Nuvem de pontos resultante do processamento em separado das imagens da fachada posterior – terceiro voo (modo manual) .....	113
Figura 61 – Resultado das nuvens de pontos limpas no software Recap .....	114
Figura 62 – Base do modelo HBIM elaborada no programa <i>Sketchup pró 2021</i> ....	114
Figura 63 – Resultado da importação do modelo para o archicad modelagem .....	115
Figura 64 – Captura de tela do resultado da importação das fichas de histórico de intervenção ao modelo no Archicad .....	115
Figura 65 – Comprimento horizontal da fissura (85 pixels x 2 cm = 170 cm), com base no método matricial aplicado aos dados do primeiro voo (03/03/2021) .....	116
Figura 66 – Comprimento diagonal da fissura (91 pixels x 2 cm = 182 cm), com base no método matricial aplicado aos dados do primeiro voo (03/03/2021) .....	117
Figura 67 – Comprimento horizontal da fissura (85 pixels x 2 cm = 170 cm), com base no método matricial aplicado aos dados do primeiro voo (28/10/2021) .....	118
Figura 68 – Comprimento diagonal da fissura (91 pixels x 2 cm = 182 cm), com base no método matricial aplicado aos dados do primeiro voo (03/03/2021) .....	119
Figura 69 – Comprimento diagonal da fissura na cúpula principal = 169,67 cm, com base em elemento vetorial (linha) desenhada no programa QGIS, sobre a ortofoto gerada a partir dos dados do primeiro voo (03/03/2021).....	120

Figura 70 – Comprimento diagonal da fissura na cúpula principal = 172,94 cm, com base em elemento vetorial (linha) desenhada no programa QGIS, sobre a ortofoto gerada a partir dos dados do primeiro voo (28/10/2021).....	120
Figura 71 – Marcação de pontos de coordenadas nas extremidades das fissuras após levantamento realizado no dia 28/10/2021 .....	121
Figura 72 – Fotomontagem preliminar de levantamento termográfico da Igrejinha da Pampulha .....	124

Quadro 1 – Níveis de detalhe <i>versus</i> informações a serem levantadas, segundo o <i>English Heritage</i> .....	29
Quadro 2 – Estratégias de documentação e nível de detalhe .....	30
Quadro 3 – Comparativo entre fotogrametria e escaneamento a laser .....	51
Quadro 4 – Diferenças entre modelos de asa fixa e multirotores .....	53
Quadro 5 – Características do uso de RPA para inspeção visual .....	59
Quadro 6 – Características dos formatos matricial e vetorial .....	68
Quadro 7 – Quadro resumo das intervenções realizadas na igreja da Pampulha entre 1955 e 2018 .....	89
Quadro 8 – Procedimentos em solo de preparação para os voos.....	100
Quadro 9 – Fluxo de trabalho no programa <i>Agisoft Metashape</i> .....	101
Quadro 10 – Coordenadas geográficas dos pontos marcados na borda da fissura	122
Quadro 11 – Resultados comparativos dos métodos Matricial e Vetorial .....	123
Quadro 12 – Comparação entre os métodos Matricial e Vetorial .....	125

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- BIM - Building Information Modelling
- CAD - Computer Aided Design
- CIPA - Comité Internacional de Photogrammétrie Architecturale
- CREA - Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura
- DPW - Digital Photogrammetric Workstation
- END - Ensaios não Destrutivos
- GPR - Ground Penetration Radar
- GPS – Global Positioning System
- GSD - Ground Sample Distance
- HBIM - Historic Building Information Modelling
- ICOMOS - Conselho internacional de Monumentos e Sítios
- IFC - Industry Foundation Classes
- INI - Inspeção não Intrusiva
- IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
- ISPRS - International Society of Photogrammetry and Remote Sensing
- ISPRS - International Society of Photogrammetry and Remote Sensing
- LoD - Level of Development
- Lol - Level of Information
- PPK - Post Processed Kinematic
- RA - Realidade Aumentada
- RPA - Remotely Piloted Aircraft
- RPAS - Remotely Piloted Aircraft System
- RTK - Real Time Kinematic
- RV - Realidade Virtual
- SIG – Sistema de Interação Geográfica
- TIC - Tecnologias de Informação e Comunicação
- UNESCO - (Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura)

## SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....	9
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 CAPÍTULO: A IMPORTÂNCIA DA DOCUMENTAÇÃO NA PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO CULTURAL.....	17
2.1 A imagem como documento – da conservação iconográfica à documentação científica por imagem .....	20
2.2 Documentação científica aplicada à conservação do patrimônio cultural ..	25
2.3 Estado da arte das tecnologias digitais aplicadas à documentação e extroversão do patrimônio cultural .....	31
2.4 Documentação científica por imagem e conservação preventiva no conteto brasileiro .....	37
2.5 Modelagem da Informação da Construção (BIM) e modelagem da Informação histórica (HBIM).....	39
2.5.1 Necessidade de padronização da documentação em mídias sociais .....	45
2.6 Modelos de aquisição de informações e representações bi- e – tri dimensionais .....	48
2.6.1 Fotogrametria e aerofotogrametria.....	48
2.6.1.1 Fotogrametria digital.....	50
2.6.1.2 Escaneamento a Laser ( <i>light amplification by stimulated emission of radiation</i> ).....	50
2.6.1.3 Aerofotogrametria .....	51
2.6.1.3 Aerofotogrametria por RPA.....	51
2.6.2 Calibração da distância de amostragem do solo - <i>Ground Sample Distance</i> (GSD) .....	53

<b>2.6.3 Pontos de controle .....</b>	<b>54</b>
<b>2.6.4 Aplicativos de planejamento de voo.....</b>	<b>55</b>
<b>2.6.5 Softwares para processamento de imagens aplicados à fotogrametria ...</b>	<b>55</b>
<b>2.7 Documentação científica aplicada ao monitoramento de manifestações patológicas construtivas .....</b>	<b>57</b>
<b>2.7.1 Utilização do RPA para o monitoramento e inspeção de edifícios .....</b>	<b>58</b>
<b>2.7.1.1 Análise de imagens, com a utilização do software Adobe Photoshop...</b>	<b>59</b>
<b>2.7.1.2 Análise de pixels, de imagens obtidas através RPAs e laser scanner .....</b>	<b>60</b>
<b>2.7.1.3 Documentação 3D e Monitoramento Estrutural usando RPA .....</b>	<b>62</b>
<b>2.7.2 Termografia infravermelha para identificação de anomalias em edificações</b>	<b>63</b>
<b>2.7.2.1 Inspeção termográfica utilizando RPA .....</b>	<b>64</b>
<b>2.8 Técnicas de processamento de imagens aplicadas a documentação científica do patrimônio cultural .....</b>	<b>65</b>
<b>2.8.1 Representação matricial .....</b>	<b>66</b>
<b>2.8.2 Representação vetorial .....</b>	<b>67</b>
<b>2.8.3 Principais diferenças entre Raster e Vetor .....</b>	<b>68</b>
<b>2.8.4 Softwares de interpretação de imagens para identificação e monitoramento de Patologias Construtivas .....</b>	<b>69</b>
<b>2.8.4.1 Programa DStretch.....</b>	<b>69</b>
<b>2.8.4.1 Utilização de Inteligência artificial para interpretação de imagens .....</b>	<b>70</b>
<b>2.8.4.1 Uso da Lógica Fuzzy no processamento de imagens digitais .....</b>	<b>71</b>
<b>2.9 Estado da arte da pesquisa no Brasil.....</b>	<b>74</b>
<b>2.9.1 Escaneamento a laser/Modelagem BIM - Casa de vidro – São Paulo/SP ..</b>	<b>76</b>
<b>2.9.2 Fotogrametria e modelagem BIM, Capela de Nossa Senhora da Escada –</b>	

**BA 77**

<b>2.9.3 Modelo BIM– da Igreja de Bom Jesus de Matozinhos - Congonhas/MG ...</b>	<b>78</b>
<b>2.9.4 Levantamento aéreo, fotogrametria digital e modelagem BIM – Campus 1 USP – São Carlos/SP .....</b>	<b>79</b>
<b>2.9.5 Escanemanto a laser/Modelagem BIM – Igreja da Pampulha – Belo Horizonte/MG .....</b>	<b>80</b>
<b>3 CAPÍTULO: ESTUDO DE CASO - IGREJA DE SÃO FRANCISCO DE ASSIS (IGREJINHA DA PAMPULHA) .....</b>	<b>81</b>
<b>3.1 Conjunto moderno da Pampulha .....</b>	<b>81</b>
<b>3.2 Igreja São Francisco de Assis.....</b>	<b>84</b>
<b>3.2.1 Histórico de patologias, intervenções e estado de conservação atual .....</b>	<b>89</b>
<b>3.2.1.1 A intervenção de 2018.....</b>	<b>91</b>
<b>3.2.1.2 Estado de conservação atual .....</b>	<b>92</b>
<b>4 CAPÍTULO: MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>93</b>
<b>4.1 Revisão de literatura e produção científica .....</b>	<b>93</b>
<b>4.2 Procedimentos adotados para levantamento in-loco - aerolevanteamento por meio de RPA .....</b>	<b>95</b>
<b>4.2.1.1 Configuração dos pontos de controle no solo .....</b>	<b>98</b>
<b>4.3 Processamento das imagens - geração de nuvens de pontos e ortofotos</b>	<b>100</b>
<b>4.4 Geração do modelo HBIM.....</b>	<b>102</b>
<b>4.5 Identificação de patologias e considerações para o monitoramento.....</b>	<b>103</b>
<b>5 CAPÍTULO: RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>108</b>
<b>5.1 Resultados do processamento das imagens – geração de nuvens de pontos e ortofotos.....</b>	<b>108</b>
<b>5.2 Geração de modelo HBIM .....</b>	<b>114</b>

<b>5.3 Resultados do monitoramento da patologia.....</b>	<b>116</b>
<b>5.4 Comparação dos resultados entre os métodos matricial e vetorial .....</b>	<b>122</b>
<b>5.5 Outras possibilidades de técnicas diagnósticas INI experimentadas na pesquisa.....</b>	<b>123</b>
<b>5.6 Limitações e incertezas dos métodos utilizados na pesquisa.....</b>	<b>124</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>125</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>127</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>133</b>
<b>Anexo A – Fichas do histórico de intervenções na igreja da Pampulha 1954- 2018</b>	<b>133</b>
<b>Anexo B – Relação da distância focal e a lente de captura.....</b>	<b>140</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As questões da documentação patrimonial envolvem diversas áreas de conhecimento de natureza tangível e intangível, como: tipos de materiais, técnicas, morfologias e valor. A documentação científica é uma demanda para a preservação do patrimônio cultural, em várias escalas, desde uma escala em nível urbano, a qual envolve a paisagem urbana e a paisagem natural, passando pela escala do edifício e seus bens culturais integrados, até a escala dos bens culturais móveis. As questões de escala, materiais, tipologias, conseqüentemente irão alterar o nível, a forma e as técnicas de investigação (KIOUSSI *et al.*, 2013).

A documentação científica por imagens é utilizada na área de conservação e restauração para estudos, monitoramento e arquivo, utilizando diversos recursos e técnicas como a própria fotografia técnica, escaneamento 3D a laser, fotogrametria entre outros. O tema central da pesquisa aqui relatada é a utilização da fotogrametria por *Remotely Piloted Aircraft* – aeronave remotamente tripulada (RPA)<sup>1</sup> para o monitoramento de patologias das construções, integrado a rotinas de conservação preventiva e manutenção, auxiliando na tomada de decisões na gestão de bens culturais imóveis e evitando gastos com intervenções corretivas após longos períodos sem as devidas manutenções e acompanhamento.

As ferramentas digitais para registro e documentação do patrimônio material servem como base documental para a criação de plataformas que promovem maior conhecimento, ampliando a qualidade da documentação, assim como a extroversão. Dentre as principais ferramentas desse tipo, pode-se enumerar: (1) fotogrametria digital, (2) escaneamento a laser, (3) sensoriamento remoto realizado por RPAs e (4) modelagem tridimensional. Elas podem se articular por meio de tecnologias de Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA) (ARAUJO, 2017) as quais contribuem para o registro, a divulgação do conhecimento e a valorização do patrimônio cultural, podendo ser utilizadas por órgãos públicos com finalidade turística e para a própria educação/extroversão do patrimônio cultural das cidades.

Neste sentido, a utilização do RPA pode contribuir para a documentação do

---

<sup>1</sup> RPA, sigla de *Remotely Piloted Aircraft System*, é o termo técnico e padronizado internacionalmente pela OACI para se referir aos sistemas de aeronaves remotamente pilotadas utilizadas com propósitos não recreativos. Fonte: <https://ajuda.decea.mil.br/base-de-conhecimento/qual-a-diferenca-entre-drone-vant-e-rpas/> acesso em 09/12/2021

conjunto e o monitoramento das patologias das construções, assim como a elaboração de mapas. O “Drone” é um equipamento de custo relativamente baixo, com precisão georreferenciada e que permite gerar produtos que possuem interfaces com programas *Building Information Modelling* - Modelagem da Informação da Construção (BIM) e a metodologia de *Historic Building Information Modelling* – Modelagem da Informação da Construção Histórica (HBIM), onde são armazenados vários metadados de interesse para a preservação (GROETELAARS, 2015).

A partir da investigação do estado da arte das novas Tecnologias da Informação e Comunicação, aplicada ao Patrimônio Cultural, o trabalho tem como objetivo principal investigar a utilização de fotogrametria digital e geração de modelos tridimensionais a partir de nuvens de pontos georreferenciados, imagens obtidas por RPAs, em protocolos de monitoramento e inspeção de patologias construtivas no patrimônio cultural edificado, em interface com a metodologia HBIM. Esta dissertação busca também compreender como a digitalização tem contribuído para a documentação, estudo, monitoramento e extroversão do Patrimônio Cultural, principalmente na escala dos edifícios e paisagens históricas urbanas no contexto brasileiro.

### **Objetivos**

Este trabalho tem como objetivo principal investigar o uso e processamento de imagens digitais obtidas por RPAs em protocolos de monitoramento de patologias em edifícios de interesse cultural, por meio de fotogrametria e processamento de nuvens de pontos georreferenciados.

### **Objetivos específicos**

Contribuir para as pesquisas na área de documentação por imagens digitais, principalmente com a utilização de RPA;

Investigar o estado da arte da documentação estudo, monitoramento e extroversão do Patrimônio Cultural, principalmente na escala dos edifícios e paisagens históricas urbanas no contexto brasileiro.

Investigar métodos de monitoramento de manifestações patológicas construtivas;

Produzir e compartilhar arquivos digitais produzidos na pesquisa, que possam ser utilizados em modelo HBIM do caso estudado.

### ***Formulação do problema***

O presente trabalho se propõe a investigar a seguinte questão: Como a fotogrametria por RPA pode ser utilizada no monitoramento de manifestações patológicas construtivas?

Para responder esta questão, a metodologia proposta envolve estudos do estado da arte da documentação científica por imagem, especificamente na área de aerofotogrametria realizada por RPA, assim como técnicas específicas de processamento de imagens.

### ***Relevância***

A documentação científica contribui para o gerenciamento e a conservação preventiva dos bens culturais edificados, além de constituir a base fundamental para projetos de intervenção ou restauração. O estado da arte da documentação científica por imagem, utiliza diversos recursos e técnicas associados a metodologia HBIM. No Brasil, projetos como **Escaneamento a laser/Modelagem BIM - Casa de vidro – Lina Bo Bardi** (CUPERSCHMID *et al.* 2018) e a **Fotogrametria e modelagem BIM da Capela de Nossa Senhora da Escada – BA** (GROETELAARS, 2015), destacam-se pela qualidade dos metadados dos modelos HBIM.

A fotogrametria realizada por RPAs, está cada vez mais acessível. Dependendo da finalidade e o uso destes documentos, pode ser considerada uma boa opção para projetos que possuem pequenos orçamentos, além de que as imagens aéreas podem complementar um levantamento realizado com a técnica de escaneamento a *laser*.

Sendo assim, a investigação de uma metodologia que utiliza câmeras RGB embarcadas em RPAs, com objetivo de monitorar manifestações patológicas construtivas, pode proporcionar em breve, para que pequenas comunidades monitorem o seu patrimônio com a utilização de uma base técnica/científica e com um custo relativamente baixo. Neste sentido a pesquisa demonstra sua relevância para a contribuição da ciência brasileira.

### ***Escopo da dissertação***

**Capítulo 1** – Discorre sobre questões do estado da arte da documentação científica abordando uso integrado de ferramentas HBIM no mundo e particularmente no Brasil.

**Capítulo 2** - Apresenta-se o estudo de caso: A Igrejinha da Pampulha, investigando seu histórico e o estado de conservação.

**Capítulo 3** - Apresenta a proposta metodológica a qual envolve planos de voo pré-programados, georreferenciados e com pontos de controle em solo, processamento digital de imagens e nuvens de pontos e tratamento de modelos computacionais tridimensionais com vistas à identificação e caracterização de alterações no estado de conservação e nas patologias investigadas.

**Capítulo 4** – Apresenta os resultados e discussão sobre as metodologias aplicadas na pesquisa.

## 2 CAPÍTULO: A IMPORTÂNCIA DA DOCUMENTAÇÃO NA PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO CULTURAL

A documentação científica, é imprescindível para as ações preservacionistas do patrimônio cultural, conforme Braga (2008, p.7) “significa antes uma ação que se confunde com a própria preservação da memória, pois é capaz de conservar não só a imagem e a história do patrimônio constituído”.

As ações de salvaguarda começam pelo conhecimento dos bens, um processo contínuo que “consiste em investigar, registrar (inventariar), documentar e gerenciar as informações sobre um determinado bem, permitindo sua melhor compreensão” (PANISSET, 2011).

As rotinas de documentação científica possuem características de evidenciar vários tipos de registros, garantindo a permanência da informação ao longo dos diferentes contextos históricos, Pereira Filho (2015, p.2) diz que a “documentação assume a função de representar ideias e objetos que nos informam sobre algo”.

Além do valor documental e simbólico, a documentação científica é a base para o conhecimento que irá auxiliar na gestão, na conservação e em projetos de intervenção conforme explica Oliveira:

Além de ser a base óbvia sobre a qual vamos elaborar o nosso projeto de intervenção, os cadastros feitos com apuro e exatidão nos permitem leitura mais detalhada da evolução do organismo arquitetônico e suas transformações, além de ensejarem a avaliação das deformações estáticas que a estrutura do edifício vem sofrendo, para que se possam aplicar as soluções corretivas. Mostram, inclusive, certas irregularidades construtivas que facilitam o entendimento da história do edifício, suas mutações e adições feitas no passado para ampliação da sua capacidade ou incorporação de novos usos. (OLIVEIRA, 2008, p. 13)

A quantidade de informações, ferramentas e métodos utilizados para elaborar um registro documental dependem da finalidade e o uso dos documentos, podendo variar desde informações básicas, como levantamentos dimensionais e fotográficos iniciais, até critérios técnicos mais sofisticados e detalhados, que embasam instrumentos de preservação como os inventários. Por sua vez, estes seguem recomendações internacionais desde o início do século XX e envolvem fundamentos históricos, artísticos e sociais, entre outros.

De um modo geral, o termo inventário, “de acordo com a sua etimologia, se origina do

termo latino *inventarium*, com o sentido de achar ou em outras palavras pôr à mostra, dar a conhecer” (HOUAISS, 2016 apud MOTTA e REZENDE, 2017, p.3). Neste sentido, “os inventários estão na origem da constituição do campo da preservação do patrimônio, devendo ser considerados conceitos-chave, porque remetem à própria conceituação do que seja o patrimônio cultural” (MOTTA e REZENDE, 2017, p. 5). Assim, o inventário serve como base para o instrumento legal para a proteção do patrimônio cultural imóvel no Brasil: o tombamento.

O tombamento é o instrumento de reconhecimento e proteção do patrimônio cultural mais conhecido, e pode ser feito pela administração federal, estadual e municipal. Em âmbito federal, o tombamento foi instituído pelo Decreto-Lei nº 25, de 30 de novembro de 1937, o primeiro instrumento legal de proteção do Patrimônio Cultural Brasileiro e o primeiro das Américas, e cujos preceitos fundamentais se mantêm atuais e em uso até os nossos dias. (IPHAN, 2015)

A palavra patrimônio parte da ideia de propriedade, ou a “herança do pai”, *heritage* em inglês, possuindo um caráter emocional, envolto por significados como afeto e emoção. Segundo (CARSALADE, 2014, p. 183), “o processo de significação é uma função física da identificação entre o ser e o mundo e implica o senso heideggeriano de pertencimento”.

*Patrimonium* também remete ao vocábulo latino *moneo*, “o que leva a pensar”, ou o que produz uma lembrança (DAWSEY, 2020). O patrimônio está associado à capacidade de lembrar, de algo herdado e a necessidade da preservação e continuidade. Deste modo, no campo da preservação, passa-se a discutir se deve-se preservar tudo, ou selecionar o que seria a memória coletiva.

Desta forma, o processo seletivo dos bens está condicionado às questões de valor, não estando esse valor atrelado apenas aos objetos, mas também à forma como é transmitido pelo seu reconhecimento simbólico, coletivo, funcional e às expectativas sociais. Com isso, o documento deixa de ser apenas um artefato histórico e passa a ser um patrimônio cultural coletivo cheio de significados e mensagens.

Ao analisar as questões que envolvem monumento e documento, Le Goff (1924, p. 462), diz que “a memória coletiva e a sua forma científica, a história, aplicam-se a dois tipos de materiais: os documentos e os monumentos”, onde “monumento é tudo aquilo que pode evocar o passado, perpetuar a recordação”. Já o documento (*documentum*) deriva do latim *docere* (ensinar) evoluindo para o significado de prova,

instrumento ou testemunho, resguardados pelas narrativas dos historiadores, as quais podem atender às intenções das classes dominantes:

O documento não é inócuo. É antes de mais nada o resultado de uma montagem, consciente ou inconsciente, da história, da época, da sociedade que o produziram, mas também das épocas sucessivas durante as quais continuou a viver, talvez esquecido, durante as quais continuou a ser manipulado, ainda que pelo silêncio. O documento é uma coisa que fica, que dura, e o testemunho, o ensinamento (para evocar a etimologia) que ele traz devem ser em primeiro lugar analisados desmistificando-lhe o seu significado aparente. O documento é monumento. Resulta do esforço das sociedades históricas para impor ao futuro – voluntária ou involuntariamente – determinada imagem de si próprias. (LE GOFF, 1924, p. 462)

A documentação de um bem não contribui apenas para transmitir conhecimento sobre os lugares de herança e significados, mas também exerce um papel fundamental como base de tomadas de decisões para gerenciamento, monitoramento, conservação preventiva e a própria intervenção do bem. Segundo Letellier (2007, p. 11) as informações do patrimônio, são a base para a conservação e envolvem um processo cíclico: monitoramento, compreensão avaliação, significados e tomadas de decisões conforme demonstrado na (Figura 1).

Figura 1 – Uso e fluxograma das informações do patrimônio



Adaptado de (LETELIER,2007, p.12).

Segundo Gonçalves e Michelin (2020), a preservação e a conservação do patrimônio edificado envolvem uma série de fatores como atribuição de valores sociais, materiais e técnicas construtivas embutidos de significados culturais, necessitando desta forma uma atenção especial, visando “evitar a perda de valor decorrente de intervenções inadequadas” (GONÇALVES; MICHELIN, 2020, p.8).

Para Avrami (2019, p.36), isoladamente, a conservação física dos bens culturais não preserva seus valores e significados. Neste sentido, práticas de documentação podem informar as questões de valores e significados associados ao lugar e ao espaço, contribuindo, desta forma, para um gerenciamento responsivo do patrimônio, conforme destaca Castriota (2009):

Assim, no campo da conservação do patrimônio, os valores vão ser sempre centrais para se decidir o que conservar – que bens materiais representarão a nós e a nosso passado – bem como para determinar como conservar – que tipo de intervenção esses bens devem sofrer para serem transmitidos para as gerações futuras. (CASTRIOTA, 2009, p. 94)

A documentação científica por imagem envolve diversas áreas de conhecimento, para a preservação do patrimônio cultural de natureza tangível e intangível, como: tipos de materiais, técnicas, morfologias e valor. Durante anos, os registros documentais, fizeram parte das discussões de diversos autores da área. Quintero (2013) apresenta o processo de documentação de sítios patrimoniais, o qual envolve a identificação e definição dos valores e significados, bem como a análise dos riscos que afetam a integridade do local e o atual estado de conservação. Sendo assim, a documentação é fundamental no gerenciamento de metadados servindo como referência para tomada de decisões, proteção, mitigação, gestão, apresentação e outros (QUINTERO, 2013, p. 10).

## **2.1 A imagem como documento – da conservação iconográfica à documentação científica por imagem**

Segundo Oliveira (2008, p.13), um dos instrumentos importantes para a preservação da memória é o seu registro iconográfico, o autor também conta que a imagem como documento, ou a documentação iconográfica é utilizada há milhares de anos como forma de representação e documentação de nossa história com a

utilização de técnicas, ferramentas e tipo de ilustrações (representações) que foram se transformando ao longo do tempo. A palavra iconografia (*εικονογραφία*) vem do grego "eykon", imagem, e "graphia", escrita, sendo uma forma de descrever algum objeto ou fato, através de imagens, ou seja, uma linguagem visual.

“Já encontramos, desde a Mesopotâmia Antiga, exemplares muito claros de representações ortogonais com finalidades cadastrais ou executivas da obra. O emprego dos levantamentos arquitetônicos na remota antiguidade das culturas do Egito e da Mesopotâmia é muito comum, pois os inventários das propriedades eram bastante frequentes e faziam uso constante da iconografia dos imóveis em planta. É o início do emprego deste procedimento para registro da memória do imóvel, embora com finalidades utilitárias e não culturais.” (OLIVEIRA, 2008, p. 14)

Vitrúvio escreveu no século I a.C, o *De Architectura Libri Decem*, onde registra as diferentes tipologias das construções da antiguidade clássica ocidental, detalhando e exemplificando, técnicas construtivas, materiais de acabamento, além de descrever as habilidades que o arquiteto deveria possuir como o conhecimento da geometria, artes e filosofia. O tratado arquitetônico de Leon Battista Alberti, foi escrito em 1452, com o intuito de esclarecer Vitrúvio, o livro *De Re Aedificatoria*, apresenta técnicas construtivas e materiais da arquitetura clássica, traduzidas por meio de um detalhamento minucioso em acordo com os avanços matemáticos da época. Sebastiano Serlio produziu em 1537, seu terceiro livro *Delas Antiguidades*, onde apresenta cadastros detalhados de monumentos antigos. Em 1530, Baldassarre Peruzzi escreveu o *Trattato di architettura militare*, um livro também inspirado em Vitrúvio, que apresentou desenhos e detalhes construtivos de fortificações com o objetivo de registrar e documentar as formas e a disposições dos fortes para serem utilizadas em estratégias e táticas militares.

Não poucas vezes, tais levantamentos eram transformados em modelos (maquetes) em escala, sobre os quais discutiam os senhores da guerra as melhores opções para a expugnação de uma praça forte ou de uma linha de defesa e outras operações militares. (OLIVEIRA, 2008, p. 17)

Entre 1719 e 1724, Montfaucon produziu o *L'Antiquité expliquée et représentée en figures* que “contém ilustrações minuciosamente detalhadas e explicadas desde monumentos grandiosos a pequenas moedas” (CHOAY, 2001). A

partir do século XVIII, a utilização das ilustrações como forma de registro torna-se um artifício crescente realizado pelos Antiquários, tornando a gravura um meio comum de comunicação e extroversão do patrimônio, mesmo que possuindo as mesmas questões atuais da fidelidade, interpretações e significados. Conforme conta Choay (2001) os Humanistas, buscaram a compreensão dos artefatos e edifícios através de ilustrações, da Ciência e da pesquisa culta e meticulosa dos eruditos, então denominados de Antiquários. Os Antiquários colecionavam artefatos e trocavam informações por toda a Europa, o que irá gerar um riquíssimo “Dossier”, com registros e ilustrações da antiguidade.

Evidentemente, com esse cabedal de documentos iconográficos informativos foi que o nosso Brunelleschi deu início à nova poética da arquitetura característica dos tempos do Renascimento, na qual o repertório das formas clássicas aparece de maneira sutil na obra do mestre, muito longe da tentativa de cópia servil da arquitetura do passado. (OLIVEIRA, 2008, p. 14)

A utilização de recursos iconográficos com a finalidade de se registrar o patrimônio, ocorreu na Europa entre as metades dos séculos XVI e do século XIX, com intuito de registrar os “corpus dos edifícios”, com o poder de conservar e recensear com utilização de imagens e textos reunidos em um “Museu de Papel” (CHOAY, 2001, p. 56).

A partir da Revolução Francesa, séc. XVIII, a iconografia como forma de preservação utilizada pelos Antiquários, foi substituída pela conservação do próprio Monumento Histórico assim como seu caráter monumental. A expansão Napoleônica resultou no surgimento dos “grandes museus”, reforçando a visão elitista desses locais como um espaço intelectual, revestido da grandiosidade, da magnitude e a “espetacularização” do ambiente e das próprias coleções.

No século XIX, pensadores como John Ruskin (1819-1900) defendiam um “restauro romântico” onde as marcas do tempo deveriam ser intocadas, com a mínima intervenção e que a restauração seria impossível, por outro lado, Viollet-le-Duc (1814-1879) acreditava no “restauro estilístico” e em uma restituição de um estado completo que pode até mesmo nunca ter existido. Apesar desta posição diante das teorias da restauração, sua busca pelos critérios e estudos frente a uma concepção ideal e a concepção de uma unidade de estilo alavancaram, de certa forma, uma visão metodológica para a documentação do patrimônio, conforme explica Oliveira (2008):

naquilo que interessa à nossa linha de estudos da representação, o legado metodológico de Viollet-le-Duc foi inestimável. Sendo exímio desenhista, registrou em seus escritos um sem-número de antigos monumentos franceses, ora desaparecidos, bem assim um extensíssimo repertório de ornamentos e detalhes de arquitetura, particularmente da arquitetura medieval francesa. É notório, nos seus procedimentos metodológicos de intervenção sobre edifícios, o extremo cuidado em meticulosos desenhos de levantamentos que empreendia antes de dar início aos seus restauros. (OLIVEIRA, 2008, p. 23)

A compreensão do desenvolvimento científico que ocorre a partir deste momento transmitiu a ideia de progresso e a descontinuidade da valorização dos processos tecnológicos tradicionais, ao contrário do que acontecia na renascença. Surge então a necessidade de uma conservação frente ao pensamento que privilegia o moderno.

o Renascimento cria o conceito de Idade Média, necessário apenas como forma de preencher o fosso entre os dois períodos positivos, plenos, significativos, da história: a história antiga e a história moderna.

A verdadeira novidade, de que tudo o mais decorre, é a ideia de uma história "moderna". O segundo é o da ciência. Ainda hoje os progressos da ciência "moderna" atingem apenas a elite intelectual – só as invenções do fim do século XVIII e do XIX são compreendidas pelas massas". (LE GOFF, 1924, p. 169)

Segundo Oliveira e Rodrigues (2011, p. 312) “no início do século XX, o crescimento da produção dos registros de informação e a necessidade de facilitar o acesso ao conhecimento acumulado levaram a uma concepção mais ampla das práticas documentais”. Os objetos passam da condição de relíquia ou maravilha para uma condição signficante, dos objetos de estudo (GONÇALVES, 2014). Por outro lado, as ideias modernistas irão alterar as práticas de conservação dos bens culturais, assim como as formas e as linguagens das exposições.

Huysen (2007) observa que nas primeiras décadas da modernidade do século XX. a cultura modernista parece ter mudado do “futuro presente para o passado presente”, uma mudança na experiência e na percepção do tempo e do espaço, o que representa um risco para a compreensão da cultura moderna e pós-moderna. Bauman (2012, p.28) explica que as mensagens costumavam circular dentro das comunidades, contribuindo para um processo de “memorização seletiva”. As informações passaram

a ser difundidas independentemente dos seus portadores, dos objetos e de seus “significados”. Neste sentido, o espaço cede lugar ao tempo comprimido, resultando na “amnésia e alienação”. Ortiz (1992) diz que a lembrança existe em função dos grupos, e que para a memória ser vivenciada, necessita de uma referência territorial e sendo atualizada em um espaço comum.

A “cultura moderna”, foi marcada pela crença no progresso, na busca da inovação, da objetividade, novos meios de transporte e de comunicação que conseqüentemente irá alterar a forma de divulgação do conhecimento e das informações.

As descontinuidades aprofundadas nos sécs. XVIII e XIX trouxeram alterações profundas na escala da relação homem-natureza, mediada pelas inovações tecnológicas em velocidade crescente: eletricidade, mídia e comunicações (telégrafo, cinema, rádio, telefone, cinema, fotografia), transportes (automóvel, trem, navegação a vapor), medicina etc. Posições como Fordismo e Taylorismo num espaço tecido e regido tecnocraticamente por organizações corporativas num cenário em que ocorrem duas guerras mundiais, passaram a multiplicar e reproduzir em série eventos de desumanização e reificação em escala global (GONÇALVES, 2014).

Com o surgimento da fotografia, o registro e a documentação do patrimônio irão se alterar de forma significativa, conforme Oliveira (2008,p.53) a fotografia passa a fazer parte das obras de restauro em todo o processo (antes, durante e depois) como forma de “documentação do trabalho”, procedimento inspirado nas teorias de conservação de Camilo Boito (1835-1914), as quais tiveram suma importância no documento gerado III Congresso dos Engenheiros e Arquitetos Italianos em 1883, o qual “é considerado a primeira carta de restauro italiana” (PANISSET, 2011, p. 31) e foi apresentado ao Ministério da Educação italiano e descreve a necessidade de se documentar detalhadamente as intervenções:

registrar as obras, apontando-se a utilidade da fotografia para documentar a fase antes, durante e depois da intervenção, devendo o material ser acompanhado de descrições e justificativas e encaminhado ao Ministério da Educação; colocar uma lápide com inscrições para apontar a data e as obras de restauro realizadas (KÜHL, 2002, p. 21 apud PANISSET,2011)

Com as inovações tecnológicas no campo da obtenção de imagens, surge a imagem digital em 1957<sup>2</sup>, ampliando as alternativas de documentação científica por imagem. Com isso, à medida que se desenvolveu o acesso e barateamento dos computadores, surgiram recursos mais acessíveis para facilitar operações de processamento de imagens como retificação, sobreposição, georreferenciamento, entre outros, os quais possibilitam formas de registro potencialmente mais precisas e confiáveis.

Igualmente, o desenvolvimento tecnológico foi pouco a pouco propiciando uma transição no uso e processamento de imagens bidimensionais para a incorporação de imagens e modelos computacionais tridimensionais (vide seção 1.6). Os procedimentos de documentação por imagem da memória cultural, ou a chamada “documentação científica por imagem” passaram de imagens em duas dimensões para três dimensões, que permitem a análise, o registro e a compreensão do objeto em formato sensorial e tridimensional.

O estado da arte das tecnologias de documentação juntamente com a metodologia HBIM (vide seção 1.4), permite o arquivamento de metadados no próprio modelo digital em 3D, proporciona representações dinâmicas e explorações tridimensionais as quais são embasadas pela documentação científica e recursos como plantas existentes, fotogrametria e levantamento arquitetônico, assim como histórico de intervenções, projetos complementares entre outros. Os modelos 3D, oferecem também base para reconstruções virtuais, tornando mais econômico o restauro de peças de coleções e objetos expostos em museus que podem ser complementadas através da impressão em 3D e até mesmo com sobreposição em realidade aumentada.

## **2.2 Documentação científica aplicada à conservação do patrimônio cultural**

O registro, documentação e gerenciamento de informações estão entre as atividades centrais da tomada de decisão no processo de gestão da conservação do patrimônio.

---

<sup>2</sup> Podemos remontar a história da fotografia digital ao ano de 1957, no qual o Russel Kirsch produziu a primeira imagem digital num computador. Ao serviço do *United States National Bureau of Standards*, Kirsch desenvolveu um scanner no qual produziu uma imagem digital a partir de uma fotografia do seu filho. (IPF, 2017)

“Todos os trabalhos de conservação, de restauro e de escavação deverão ser sempre acompanhados pela compilação de documentação precisa, sob a forma de relatórios analíticos e críticos, ilustrados com desenhos e fotografias. Todas as fases dos trabalhos de desobstrução, de consolidação, de recomposição e de reintegração, assim como os elementos técnicos e formais identificados no decorrer dos trabalhos deverão ser anotados. Esta documentação deverá ser guardada nos arquivos de um organismo público e colocada à disposição dos investigadores, recomendando-se a sua publicação. Antes de qualquer intervenção, as condições existentes devem ser rigorosamente documentadas.” (BARRANHA, 2016, p. 98)

Segundo Kioussi *et al.* (2013), um procedimento documental que envolve um bem patrimonial, deve possuir diferentes escalas de abordagem que podem ser definidas como **macroescala**, **mesoescala** e **a microescala** onde a macroescala considera aspectos estruturais: históricos, vulnerabilidade, impacto humano, informações sobre materiais, questões de valores entre outros. Já a mesoescala conforme é demonstrado na (figura 2) e microescala devem considerar aspectos físicos e químicos do bem e seus níveis de degradação. Desta forma, uma metodologia padronizada irá permitir melhores resultados e conclusões mais seguras sobre a melhor maneira de abordar os problemas que o objeto de estudo enfrenta.

Figura 2 – Diferentes escalas de abordagem



Fonte: Kioussi *et al.* (2013, tradução nossa).

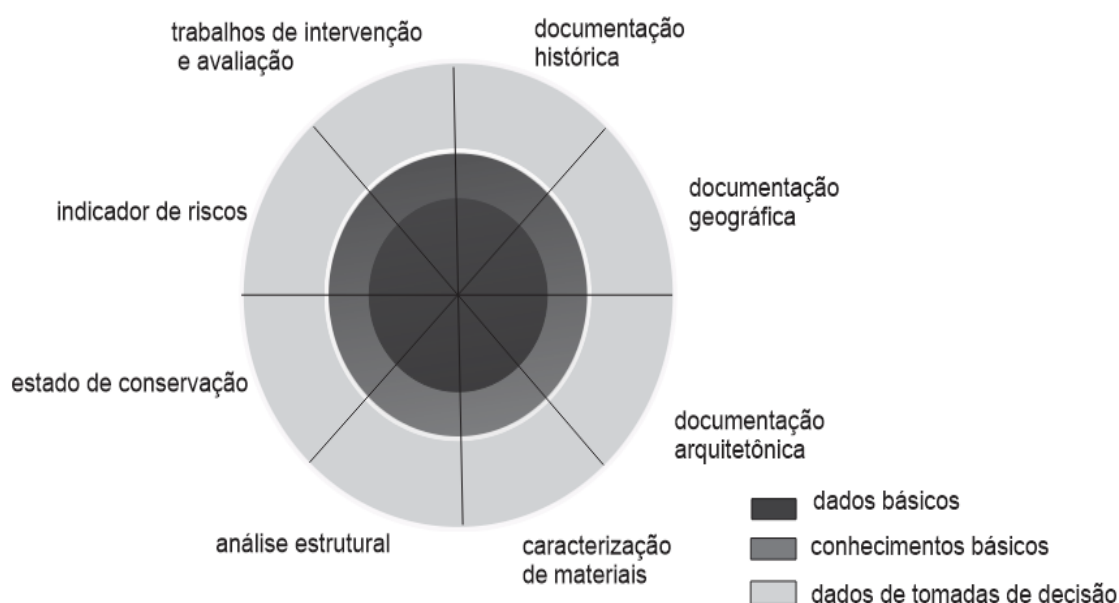
Com base nas três escalas de abordagem citadas acima, Kioussi *et al.* (2013), propõem um protocolo para criar documentos integrados, baseados em dados básicos, dados de conhecimento e dados de tomadas de decisão (Figura 3) e uma metodologia para tomada de decisões (Figura 4).

O primeiro nível dos protocolos fornece dados básicos sobre o ativo refletindo as informações primárias sobre a identidade do edifício.

O segundo nível compreende dados mais extensos sobre o conjunto oferecendo uma base de conhecimento mais detalhada.

No terceiro nível, a especialização de dados é aumentada ainda mais. Nesse nível, os dados estão correlacionados dentro das categorias acima mencionadas e dentro de todos os níveis, para a implementação bem-sucedida de "ferramentas" específicas que permitem a priorização das necessidades de monumentos, apoiando a decisão e procedimentos de tomada de decisão, permitindo a gestão geral do monumento. (KIOUSSI *et al.*, 2013 *tradução nossa*)<sup>3</sup>

Figura 3 – Proposta de protocolo para documentação integrada

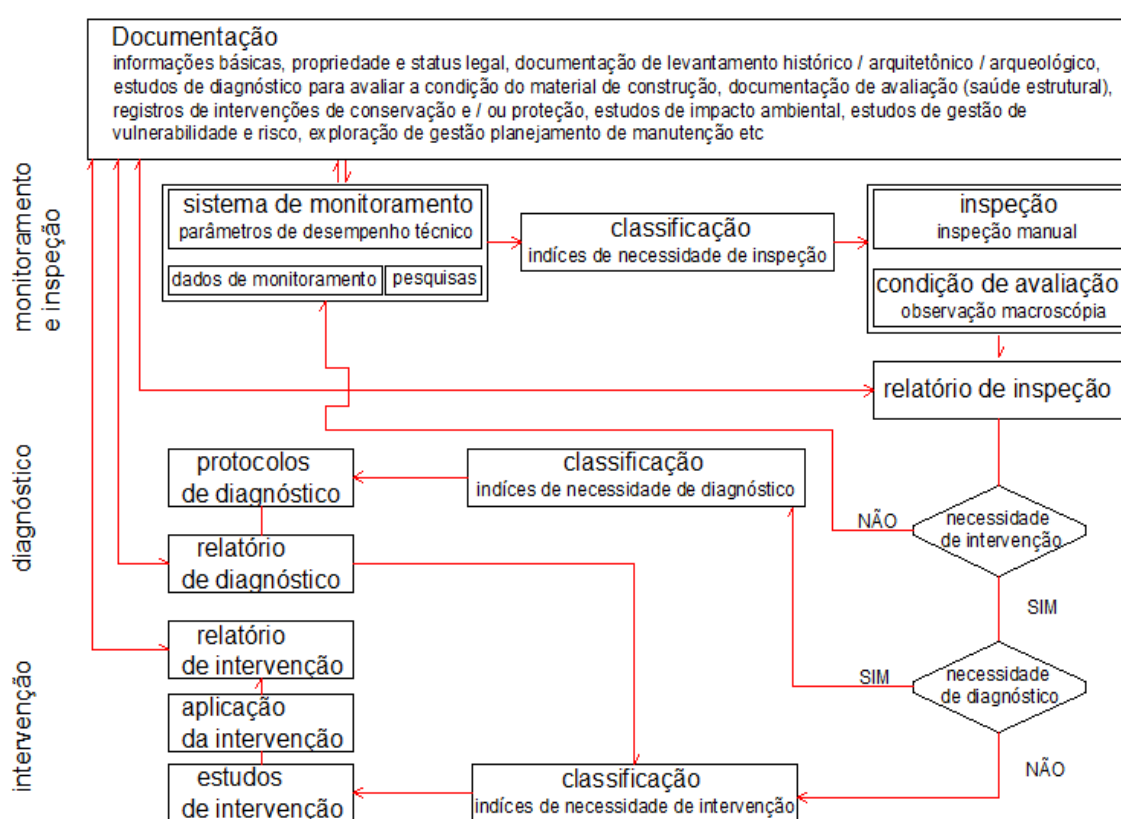


Fonte: Kioussi et al. (2013, tradução nossa).

<sup>3</sup> *The first level of the protocols delivers basic data on the asset reflecting the primary information about the building's identity. The second level comprises more extended data on a building's ensemble offering a more detailed knowledge base. At the third level, specialization of data is further increased. At this level, data are correlated within the aforementioned categories and within all levels, for the successful implementation of specific "tools" that allow prioritization of monuments' needs, supporting decision making procedures and allowing for overall management of the monument.*

Com referência ao protocolo proposto por Kioussi et al. (2013) este estudo abordou os níveis de Macroescala e Mesoescala, e atendeu parte dos protocolos de documentação histórica (ver Figura 3): como trabalhos de intervenção e avaliação baseados em Starling (2018), documentação histórica, documentação geográfica, documentação histórica e estado de conservação no nível de conhecimentos básicos, servindo como material para tomadas de decisões (ver Figura 4).

Figura 4 – Metodologia para tomada de decisões na gestão do Patrimônio



Fonte: Adaptado de Kioussi *et al* (2013).

Em um projeto de documentação, é necessário realizar o gerenciamento dos dados de modo a possibilitar o armazenamento, a recuperação e a disponibilização das informações (Quadro 1), conforme indica o *English Heritage*, citado por Grotetelaars (2015, p. 51):

Quadro 1 – Níveis de detalhe *versus* informações a serem levantadas, segundo o *English Heritage*

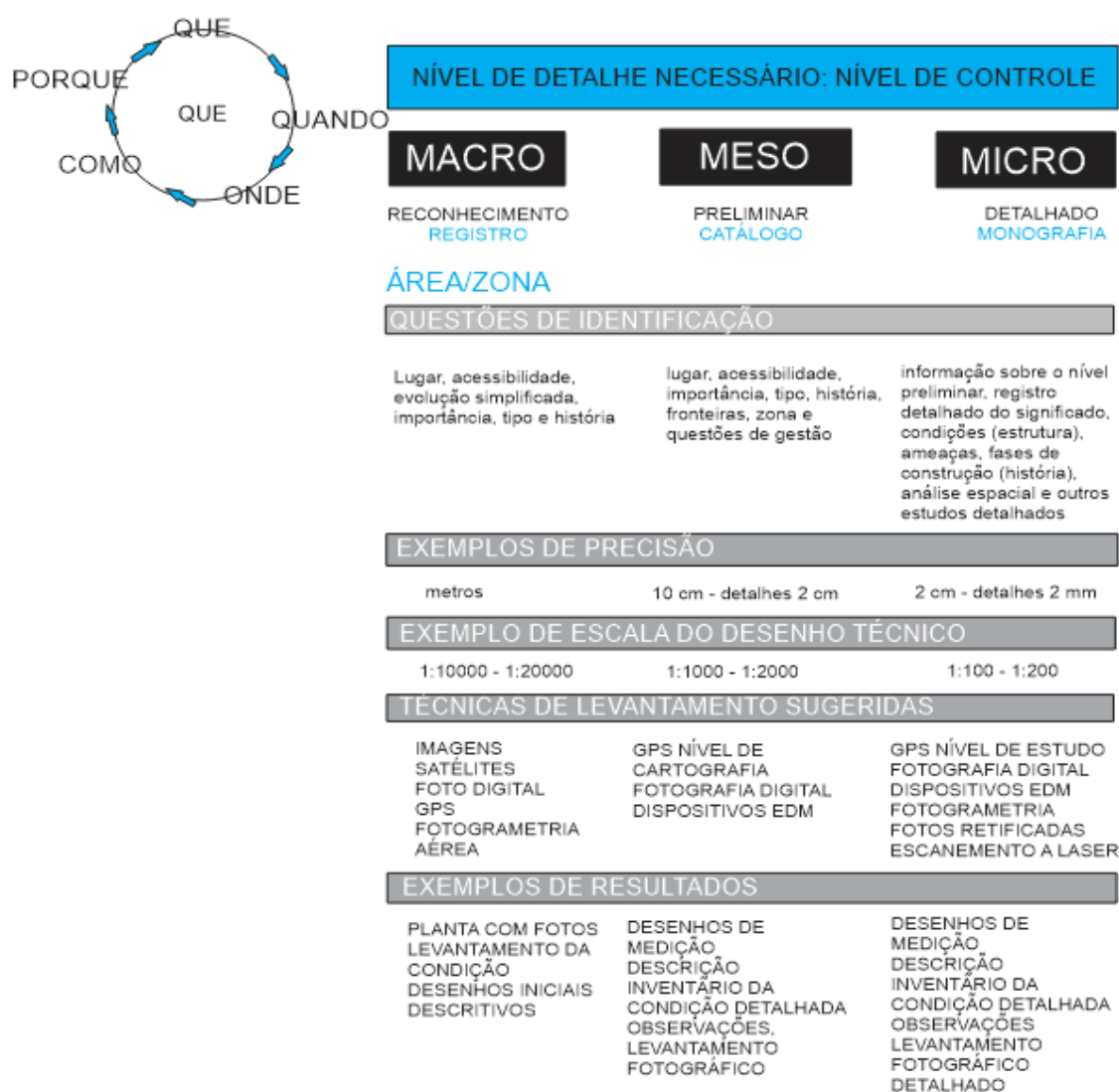
	DESENHOS	FOTOGRAFIAS	DOCUMENTOS TEXTUAIS
NÍVEL 1	Levantamento somente do exterior, sendo possível incluir, eventualmente (em casos específicos), alguns esboços com características relevantes do interior	Fotografias do exterior, permitindo uma visão geral da edificação	Dados básicos: localização, data do levantamento, nome do levantador, tipo e função da edificação (passado e presente), seus materiais e possível data de construção
NÍVEL 2	Levantamento essencialmente do exterior, podendo, em algumas situações, incluir: esboços cotados de plantas, cortes, elevações levantamento cadastral para elaboração de plantas gerais do sítio, plantas baixas, cortes e elevações	Fotografias do exterior e interior da edificação (principais cômodos e áreas de circulação)	Dados do nível 1, incluindo: informações históricas da edificação, forma, função, nome dos arquitetos, construtores e proprietários (quando conhecidos)
NÍVEL 3	Levantamento cadastral para elaboração de plantas baixas, podendo incluir em casos específicos: esboços cotados de plantas, cortes, elevações cadastro para obtenção de cortes, elevações e alguns detalhes cópias de desenhos anteriores para embasar a análise histórica modelos geométricos para facilitar a compreensão da edificação desenhos para ilustrar a evolução histórica	Fotografias do exterior e interior da edificação (principais cômodos e áreas de circulação), detalhes internos e externos relevantes (com régua para facilitar a determinação aproximada da escala) Fotos antigas, ilustrando sua evolução	Dados do nível 2, incluindo: relato das circunstâncias do registro realizado: objetivos, métodos, escopo e limitações análise crítica dos registros e documentos existentes da edificação abordagem sobre aspectos formais da edificação (estrutura, materiais, compartimentação, elementos decorativos) e suas fases de desenvolvimento, juntamente com evidências, embasando a análise relação da bibliografia consultada, podendo incluir eventualmente um glossário dos termos utilizados
NÍVEL 4	Iguais aos do nível 3	Iguais aos do nível 3	Dados do nível 3, incluindo: maior discussão sobre fontes publicadas, criando desenhos novos sobre fontes primárias discussão sobre o passado da edificação e sua relação com o presente informações relevantes dos proprietários, arquitetos, construtores ou outras pessoas familiarizadas com a edificação

Fonte: (GROETELAARS, 2015, p. 56)

Em acordo com nível de informações de um projeto de documentação proposto pelo *English Heritage* (Quadro 1), esta pesquisa atendeu os níveis um e dois, uma vez que não envolveu a documentação do ambiente interno.

Quintero (2013) apresenta uma estratégia para documentação, associado a avaliação de riscos e aspectos das questões patrimoniais, em diferentes escalas: **macro** (reconhecimento e identificação de questões importantes), **meso** (preliminar com o registro das principais características) e o **micro** (pesquisa dirigida, análise ou planejamento da intervenção e desenho conceitual (Quadro 2).

Quadro 2 – Estratégias de documentação e nível de detalhe



Fonte: Adaptado de Quintero (2013)

### **2.3 Estado da arte das tecnologias digitais aplicadas à documentação e extroversão do patrimônio cultural**

Os avanços das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) estão transformando os ambientes em espaços mais informacionais e interativos, proporcionando as relações ubíquas (presente em todos os lugares e em todos os momentos) impulsionadas pela expansão dos raios de cobertura de uma internet cada vez mais rápida, trazendo uma nova maneira de se comunicar, assim como o acesso e compartilhamento do conhecimento.

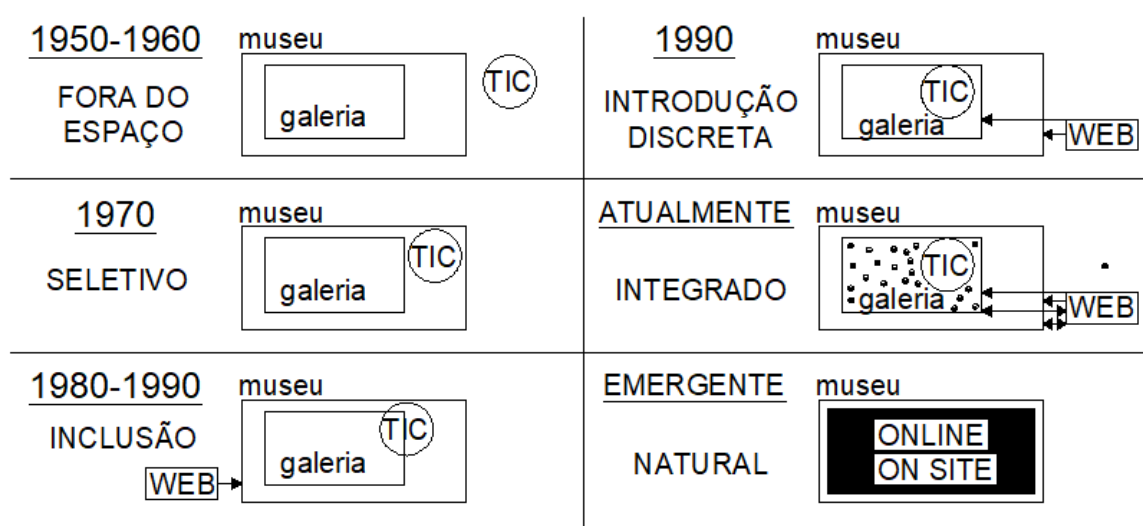
Conforme previa Negroponte (1995, p. 159), “a vida digital exigirá cada vez menos que você esteja num determinado lugar e a transmissão do próprio lugar vai começar a se tornar realidade”, fato que atualmente se tornou comum e foi acentuado pela Pandemia de 2020, ampliando as comunicações entre as pessoas via internet em tempo real como: reuniões aulas, encontros, shows, compras, etc, passaram a fazer parte de um novo modo de viver. Ainda segundo Negroponte (1995, p. 157) a transição da era industrial para a era pós-industrial, a qual ele denominava de “a era da informação” e que já caminhava para a era da pós-informação, onde a informação se tornaria personalizada e individual.

Diversos autores discutem a relação à sociedade e a tecnologia. Feenberg (2004) afirma que o mundo da tecnologia é o meio no qual os agentes interagem com o computador, e este mundo adquire significados a partir deste processo. Latour (1993) também valoriza os aspectos sociais da tecnologia que, para ele, se aplicam a uma forma particular de explorar a existência do próprio “ser”: a tecnologia seria o “outro”, entendida como uma forma de mediação de experimentos tecnológicos. Lévy (1993) por sua vez, destaca a importância desta mediação: “Uma interface homem/máquina designa o conjunto de programas e aparelhos materiais que permitem a comunicação entre um sistema informático e seus usuários humanos” (LÉVY, 1993, p. 108). Trata-se, portanto, de uma racionalidade que cada vez menos percebemos visualmente e que cada vez mais se incorpora aos nossos hábitos (SANTAELLA, GALA, *et al.*, 2013).

A Internet das Coisas muda as relações entre o homem, o espaço e objetos que, segundo (BEIGUELMAN, 2016), caracterizam um “nomadismo tecnológico”, os celulares redimensionam a discussão da cultura para escalas de telas que cabem no bolso, impulsionados pela expansão dos raios de cobertura 5G e pela popularização dos recursos de geolocalização.

Os atuais recursos tecnológicos digitais estão auxiliando na documentação, conservação e extroversão do patrimônio em escala mundial. A digitalização oferece novas formas de compartilhar e aprimorar o patrimônio cultural e arquitetônico, proporcionando que as comunidades locais descubram seu próprio patrimônio, com a utilização de mídias sociais e em visitas coletivas, nas quais os dispositivos digitais são utilizados (GERMANA, 2018). É possível perceber esta inserção de recursos tecnológicos nos espaços culturais, conforme Suzane Macleod demonstra a cronologia da introdução das tecnologias de informação no ambiente do museu a partir da segunda metade do século XX (Figura 5).

Figura 5 – Cronologia da inserção das tecnologias de comunicação nos Museus



Fonte: Adaptado de (MACLEOD, 2013)

Muitas vezes, as tecnologias da informação embutidas em espaços culturais, são utilizadas em favor da indústria cultural e o turismo cultural, forçando os lugares de memória a se submeterem a exploração da diversão e do lazer em consequência da lógica do capital e a escassez de recursos financeiros. Em muitos casos a **espetacularização** das exposições é devido às posições dos patrocinadores em atrair mais público. Esta necessidade de agradar ao público e atrair visitantes influencia não só nos espaços museais, mas também nas cidades, que impulsionam a gentrificação e a “Disneyficação do Lugar”, conforme explica Castello (2007).

Segundo Huyssen (1994), os museus estão se transformando em ambientes espetaculares e se confundindo “com a concepção de que o museu é um lugar de entretenimento, entre o parque de diversões e o shopping center”, construindo relações com indústria cultural e se confundindo com a indústria de massa que diminui a autonomia dos indivíduos por meio da manipulação. Já Gonçalves (2014), citando Rubin, destaca que:

O esforço exigido pelo trabalho cultural parece dar lugar a uma assimilação leve, e mesmo plena de divertimento, da cultura. A cultura parece convergir para o lazer. Não por acaso, cultura, entretenimento e turismo conformam um amalgama poderoso na situação contemporânea... (RUBIN, 2002, apud (GONÇALVES, 2014)

A educação patrimonial passa a ser apresentada de uma forma interativa e “talvez” mais didática e interessante. O estado da arte das tecnologias das informações atrai novos públicos e proporciona formas diferentes de acesso à cultura e lugares, mesmo que virtualmente, por outro lado, facilita o acesso a pesquisadores e ao conhecimento de acervos de vários lugares do mundo. O estado da arte das tecnologias de comunicação propicia novas interfaces, para o estudo e a extroversão do patrimônio cultural, “se transformando na área de contato, de tradução de dois espaços, de um código para o outro, do analógico para o digital, da máquina para o homem” (LÉVY, 1993),

Desta forma, as ferramentas digitais devem ser utilizadas, não apenas como comunicação e entretenimento das exposições ou comunicação de museus, mas em todas as suas funções sociais, assim como o registro (RAPOSO, 2018), documentação e na conservação preventiva de objetos, esculturas e construções através de monitoramento remoto. Os atuais recursos tecnológicos permitem a utilização de sensores virtuais capazes de registrar condições ambientais de um local, com o objetivo de auxiliar os cientistas da conservação no planejamento, intervenções de restauração ou manutenção de bens culturais expostos a intemperes e poluição (CALABRESE, ODISIO, *et al.*, 2018), ampliando as ferramentas para o monitoramento e a conservação dos bens culturais.

As tecnologias digitais passarão a ser usadas não apenas no pilar da “comunicação” do museu, mas em todas as suas funções sociais: o registro 3D tornará mais económico o restauro de peças e permitirá melhores e mais seguros índices de desempenho no inventário; o

acesso virtual a coleções revolucionará a relação entre reservas e áreas expositivas; estas últimas, e bem assim as publicações (mesmo impressas)... (RAPOSO, 2018)

O uso de novas tecnologias relacionadas ao patrimônio cultural não é tão recente, sendo que a reconstrução virtual é a mais tradicional entre elas (ROBLES, GARCÍA e RUIZ, 2010). Atualmente, o desenvolvimento de modelos 3D ou reconstruções virtuais, vão além dos métodos tradicionais de representação (HIDALGO, 2010), proporcionando reproduções dinâmicas e explorações tridimensionais, embasadas em plantas existentes, fotogrametria e levantamento arquitetônico.

As atuais ferramentas de documentação, facilitam as reconstruções virtuais, tornando mais econômico o restauro de peças, que podem ser complementadas com a utilização da impressão em 3D e até mesmo com sobreposição em realidade aumentada, podendo contribuir de uma forma mais precisa do que o levantamento manual, realizado com equipamentos tradicionais de medição.

Segundo Lévy (2013), um **modelo digital** é explorado de forma interativa, ao contrário de um texto em papel ou até mesmo em um computador, o modelo digital é prático e dinâmico possuindo certa autonomia de ação e reação e aumenta os poderes de imaginação e da intuição do usuário.

O estado da arte destas novas ferramentas tecnológicas amplia as possibilidades e alcance das iniciativas de **Educação Patrimonial**. “[...] Estes múltiplos modos de interação viriam animar e alimentar dispositivos funcionais caracterizados pela ação mútua e simultânea de usuários e sistemas” (LÉVY, 1993, p. 74).

O desenvolvimento de modelos 3D ou reconstruções virtuais, vai além dos métodos tradicionais de representação, proporcionando representações dinâmicas e explorações tridimensionais, embasadas em plantas existentes, fotogrametria e levantamento arquitetônico (HIDALGO, 2010). As reconstruções virtuais podem tornar mais econômico o restauro de peças, que podem ser complementadas por impressão em 3D e até mesmo com sobreposição em realidade aumentada. Isso pode ocorrer em peças de interesse cultural, no patrimônio arquitetônico e arqueológico, facilitando a compreensão de como eram, ou como poderiam ser. As mídias digitais propiciam novas experiências e uma interatividade com o patrimônio, onde o objeto poderá conter e transmitir informações para displays digitais, computadores pessoais e

smartphones, em uma era, em que as informações são transmitidas possibilitando entre objetos distintos, “de um código para o outro, do analógico para o digital, da máquina para o homem” (LÉVY, 1993).

No entanto, apenas dados 3D não são suficientes para arquivar a complexidade do patrimônio e entender sistemas complexos (multidimensionais) (NOARDO, 2020) de edifícios, por exemplo. As informações contidas nas elaborações dos modelos não podem ser perdidas, sendo essencial coletar, armazenar os documentos e transformá-los em dados compreensíveis e “objetos digitais comunicativos” de fácil acesso (ROBLES, GARCÍA e RUIZ, 2010).

Ainda segundo Robles, García e Ruiz (2010), o modelo digital deve ser elaborado com um caráter científico, buscando a interpretação de documentos, levantamentos históricos, envolvendo estudos de técnicas construtivas e acabamentos. Neste sentido, a modelagem 3D com base em interpretação, é o fruto de um debate intenso com a geração de documentos constituídos de uma “Reconstrução Virtual” e que necessariamente deve ser amplamente fundamentada. A “Reconstrução Virtual” mesmo possuindo todo o embasamento científico, é questionável quanto a sua fidelidade e o quanto é hipotético.

Essa diferenciação deve ser registrada no próprio modelo, demonstrando o que é hipótese e o que é real, baseado em partes existentes e documentos, sendo necessário que estas informações estejam contidas, quanto ao “níveis de fidelidade”, onde as partes que correspondem à documentação contrastada e o que pertence à hipótese do pesquisador, podem ser indicadas com um código de cores, sendo necessário uma regulamentação para a produção deste tipo de material, voltado ao patrimônio cultural, como forma de evitar a proliferação de modelos apenas hipotéticos (ROBLES, GARCÍA e RUIZ, 2010).

Há vários anos, instituições como Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO) e o Conselho internacional de Monumentos e Sítios (ICOMOS) discutem, em conferências internacionais e publicações, recomendações em busca de uma linguagem comum.

A carta ICOMOS-ENAME para a Interpretação e Apresentação de Sítios de Patrimônio Cultural, baseada na Carta de Veneza de 1964 e ratificada na 16ª Assembleia Geral do ICOMOS em 2008, pode ser considerada pioneira na abordagem multimídia e multidisciplinar da apresentação do patrimônio. os objetivos da carta ICOMOS-ENAME são:

A carta ICOMOS-ENAME para a Interpretação e Apresentação de Sítios de Patrimônio Cultural, baseada na Carta de Veneza de 1964 e ratificada na 16ª Assembleia Geral do ICOMOS em 2008, pode ser considerada pioneira na abordagem multimídia e multidisciplinar da apresentação do patrimônio. Os objetivos da carta ICOMOS-ENAME são:

1. Facilitar a compreensão e apreciação de locais de patrimônio cultural e promover conscientização pública e engajamento na necessidade de sua proteção e conservação.
2. Comunicar o significado dos locais de patrimônio cultural a uma variedade de públicos através do reconhecimento cuidadoso e documentado dos significados, através da aceitação métodos científicos e acadêmicos, bem como de tradições culturais vivas.
3. Proteger os valores tangíveis e intangíveis dos locais de patrimônio cultural em seus cenários naturais e culturais e contextos sociais.
4. Respeitar a autenticidade dos locais de patrimônio cultural, comunicando o significado de seu tecido histórico e valores culturais e protegê-los de o impacto adverso da infraestrutura interpretativa intrusiva, pressão do visitante, interpretação imprecisa ou inadequada.
5. Contribuir para a conservação sustentável de locais de patrimônio cultural, por meio promover a compreensão e a participação do público na conservação em curso esforços, garantindo a manutenção de longo prazo da infraestrutura interpretativa e revisão regular de seu conteúdo interpretativo.
6. Incentivar a inclusão na interpretação de locais de patrimônio cultural, facilitando o envolvimento das partes interessadas e comunidades associadas no desenvolvimento e implementação de programas interpretativos.
7. Desenvolver diretrizes técnicas e profissionais para a interpretação do patrimônio e apresentação, incluindo tecnologias, pesquisa e treinamento. (ICOMOS, 2008, p. 5-6, *tradução nossa*)<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> 1. Facilitate understanding and appreciation of cultural heritage sites and foster public awareness and engagement in the need for their protection and conservation. 2. Communicate the meaning of cultural heritage sites to a range of audiences through careful, documented recognition of significance, through accepted scientific and scholarly methods as well as from living cultural traditions. 3. Safeguard the tangible and intangible values of cultural heritage sites in their natural and cultural settings and social contexts. 4. Respect the authenticity of cultural heritage sites, by communicating the significance of their historic fabric and cultural values and protecting them from the adverse impact of intrusive interpretive infrastructure, visitor pressure, inaccurate or inappropriate interpretation. 5. Contribute to the sustainable conservation of cultural heritage sites, through promoting public understanding of, and participation in, ongoing conservation efforts, ensuring long-term maintenance of the interpretive infrastructure and regular review of its interpretive contents. 6. Encourage inclusiveness in the interpretation of cultural heritage sites, by facilitating the involvement of stakeholders and associated communities in the development and implementation of interpretive programmes. 7. Develop technical and professional guidelines for heritage interpretation and presentation, including technologies, research, and training. (ICOMOS, 2008, p. 5-6)

Em 2002, A UNESCO realizou um congresso virtual com o tema **Patrimônio Mundial na era digital**<sup>5</sup> onde foi discutido o tema “tecnologia e novas mídias para documentação. Em 2003, na 32ª Conferência, realizada em Paris, foi elaborado o “projeto da Carta para a preservação do patrimônio digital”<sup>6</sup> e em 2012 na celebração do 20º aniversário do programa Memória do Mundo realiza a conferência internacional com o título “Memória do Mundo na era digital: digitalização e preservação”<sup>7</sup>.

Outra organização importante é a Sociedade Internacional de Sistemas Virtuais e Multimídia - *Virtual Systems and Multimedia Society* (VSSM)<sup>8</sup>, fundada no Japão em 1995, que realiza pesquisas em novas mídias, realidade virtual e aumentada aplicada a diversos segmentos como arte, arquitetura, medicina, engenharia, arqueologia e patrimônio cultural e também promove conferências anuais que reúnem pesquisadores da aplicação de mídia digital móvel, de realidade virtual e de realidade aumentada, favorecendo a divulgação e o compartilhamento do conhecimento científico na área.

Organizações internacionais como o ICOMOS, o Centro do Patrimônio Mundial da UNESCO e o Instituto Getty de Conservação, além de outras veem discutindo as possibilidades tecnológicas de integrar a documentação digital no processo de conservação do patrimônio cultural.

## **2.4 Documentação científica por imagem e conservação preventiva no conteto brasileiro**

O Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) foi criado em 1937, como Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (SPHAN), com objetivo de estabelecer as diretrizes e políticas com relação a preservação e gerenciamento dos bens culturais. Conforme Froner (2001, p. 392), o SPHAN surge devido a agentes culturais concentrarem esforços visando a proteção dos bens culturais brasileiros, em um momento em que as discussões internacionais ganham força na reunião da Liga das Nações, em 1930. O SPHAN surge com a árdua tarefa

---

<sup>5</sup> <https://whc.unesco.org/en/events/210/>

<sup>6</sup> [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000131178\\_spa](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000131178_spa)

<sup>7</sup> <https://www.bad.pt/noticia/2012/02/09/unesco-promove-conferencia-sobre-a-memoria-do-mundo-na-era-digital-digitalizacao-e-preservacao/>

<sup>8</sup> <http://vsmm.org/>

de realizar o levantamento do patrimônio histórico nacional, realizando um inventário metódico dos bens, para decidir sobre questões relacionadas à proteção assim como o tombamento. Segundo Andrade (1987),

a tarefa principal que o legislador brasileiro cometeu ao Serviço incumbido da proteção àqueles bens é o seu tombamento. Mas como não se conhecem previamente todas as coisas de excepcional valor histórico ou artístico existentes no Brasil, para tomar as que tenham esses requisitos torna-se necessário proceder pelo país inteiro a um inventário metódico dos bens que pareçam estar nas condições estabelecidas para o tombamento e, em seguida, realizar os estudos requeridos para deliberar sobre a respectiva inscrição. (ANDRADE, 1987, p. 51-52)

Em 1937, Lúcio Costa irá escrever no número 1 da Revista do SPHAN o artigo “Documentação Necessária”, onde ele apresenta desenhos com detalhes das casas coloniais brasileiras, ressaltando a importância do conhecimento dos mestres construtores.

A nossa antiga arquitetura ainda não foi conveniente estudada. Se já existe alguma coisa sobre as principais igrejas e conventos – pouca coisa, aliás, e girando o mais das vezes em torno da obra de Antônio Francisco Lisboa, cuja personalidade tem atraído, a justo título, as primeiras atenções -, com relação à arquitetura civil e particularmente à casa, nada, ou quase nada, se fez. (COSTA, 1937, p. 31)

Segundo Castriota (2009, p. 191), naquela época, a preservação de um bem centrava-se na figura jurídica do tombamento, ficando, para o inventário, um papel secundário. Mesmo assim o SPHAN irá documentar as principais obras de arquitetura, os “monumentos arquitetônicos” em grande parte do país, além de inventariar as coleções de todos os museus federais e, só a partir da década de 70, irão surgir vários órgãos estaduais e municipais de preservação, em um processo de descentralização das políticas de patrimônio no Brasil. Ainda segundo Castriota (2009, p. 191), a preservação dos conjuntos urbanos era entendida por critérios estilísticos e os conjuntos tombados eram vistos como objetos idealizados, só a partir da elaboração da Carta de Veneza de 1964 o conceito de “cidade monumento” irá ser substituído pelo o de “sítio urbano”.

Tolentino (2018, p. 62) descreve que somente na década de 1980 os processos de documentação do patrimônio passaram a possuir um espaço

institucional, com a criação da Coordenação de Registro e Documentação (CRD) na década de 1990, pelo Departamento de Identificação e Documentação (DID) e em 2004, pela Coordenação-Geral de Pesquisa, Documentação e Referência do IPHAN (COPEDOC).

## **2.5 Modelagem da Informação da Construção (BIM) e modelagem da Informação histórica (HBIM)**

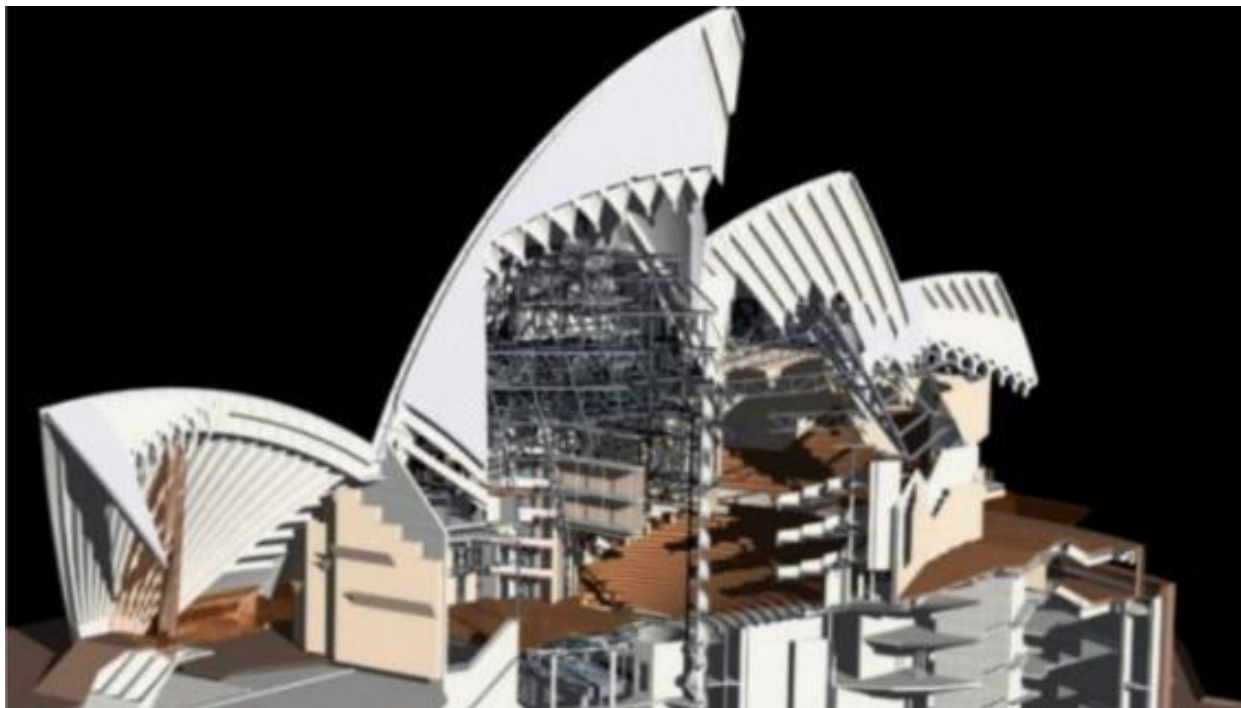
BIM (*Building Information Modeling*) é uma metodologia que auxilia na gestão de projetos e na compatibilização entre eles. Atualmente o uso de tecnologias BIM vem ganhando cada vez mais adeptos na construção civil, desde o planejamento do projeto à execução da obra. Neste sentido, a BIM é uma metodologia que facilita o gerenciamento de toda a construção que integra todos os processos, desde o projeto ao uso participando de todo o ciclo de vida do edifício. Segundo López (2018), a BIM possibilita a integração do projeto de edifícios, uma vez que atinge uma representação digital 3D das características “físicas, funcionais e semânticas” de uma edificação nova ou existente. Conforme destacam Fabrício et al.:

A metodologia *Building Information Modelling (BIM)* é, atualmente, uma das principais expressões das inovações tecnológicas digitais aplicadas à Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação. Trata-se de um instrumento capaz de analisar grande quantidade de informações, por meio de um modelo virtual que gerencia o ciclo de vida de um edifício, voltado as fases anteriores a construção. Para edifícios construídos tem-se o conceito de HBIM (Historic Building Information Modelling) como alternativa de gerenciamento, na qual objetos paramétricos são construídos a partir de dados de edifícios históricos. (FABRICIO, COSTA, *et al.*, 2021, p. 1)

Entre as diferenças das plataformas de Desenho Assistido por Computador (CAD) e BIM está o nível de detalhamento dos objetos paramétricos acrescidos de informações, que a BIM possibilita (SPBIM, 2020). Conforme Rocha, *et al* (2020), a metodologia BIM é integrada e colaborativa, centrada em um ambiente digital (modelo tridimensional computacional) que contém as informações necessárias para gerenciar as construções ao longo de seu ciclo de vida, atuando desde o projeto, construção até o gerenciamento pós-uso. Segundo Groetelaars (2015), um dos primeiros exemplos encontrados na literatura sobre modelagem BIM com auxílio de escaneamento a *laser*

foi o modelo da ópera de Sydney (Austrália), o qual foi desenvolvido com a finalidade de auxiliar o gerenciamento da edificação (Figura 6).

Figura 6 – Modelo da Sydney Opera House



Fonte: Disponível em: <<http://www.aia.org/aiaucmp/groups/aia/documents/pdf/aiab081587.pdf>>. Acesso em 20 mar. 2014 apud (GROETELAARS, 2015)

A partir do modelo BIM, “é possível gerar uma série de outros produtos, como desenhos, modelos fotorrealísticos, quantitativos, animações, dentre outros” (GROETELAARS, 2015), que podem servir como base para a manutenção e o desenvolvimento de projetos de intervenção em edificações existentes. A interface do modelo BIM facilita a exportação para outros programas, possibilitando a realização de análises e simulações estruturais e climáticas, por exemplo. O modelo BIM também pode ser utilizado em diferentes sistemas de informação, visando a extroversão do patrimônio, por exemplo, com utilização da Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA) autonomamente na plataforma *web*, dentre outros.

Os metadados embutidos nos modelos BIM são os diferenciais entre projetos 2D e 3D, que facilitam o acesso a todos envolvidos em um empreendimento. Desta forma, o BIM se torna um grande aliado quando aplicado à preservação de edifícios

históricos, nas questões relacionadas a documentação. A metodologia demonstra um potencial para a documentação, gestão e conservação do patrimônio, dando origem ao termo HBIM, quando aplicado ao patrimônio cultural. Além do registro e a documentação do estado atual do bem cultural, a HBIM possibilita integrar metadados de fontes diferentes em um único modelo virtual tridimensional, destaca Groetelaars (2015):

- . Dados históricos;
  - . Informações coletadas em diferentes etapas de levantamento;
  - . Capacidade de armazenar propostas de intervenções e intervenções já realizadas;
  - . Identificação de incoerências entre os projetos e a gestão da conservação;
  - . Capacidade de simular desempenho energético e potenciais riscos;
  - . Auxiliar na gestão e **principalmente na conservação preventiva**.
- (GROETELAARS, 2015, p. 53 *grifo nosso*)

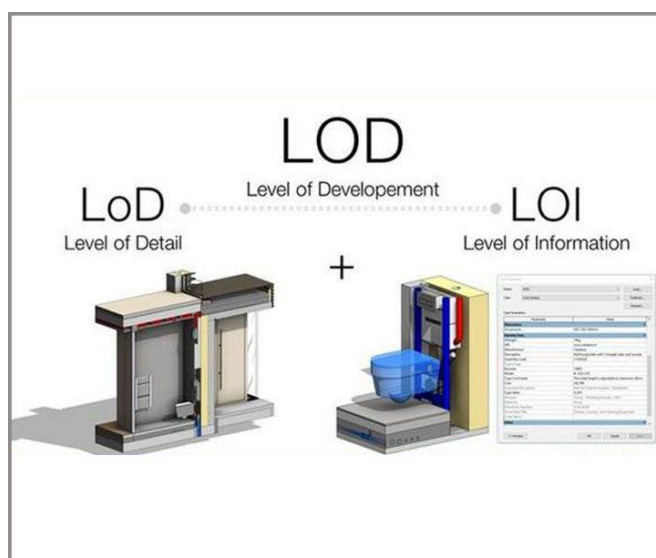
Segundo Grussenmeyer, Boehm e Barazzetti (2020), Nlas questões da HBIM estão ligadas ao valor do patrimônio arquitetônico, alteram os dados vinculados ao modelo de construção, como dados numéricos, imagens e documentos de texto, que podem evidenciar sua importância histórica, mas também podem ter valor histórico. É essencial compreender claramente e registrar o valor do patrimônio arquitetônico em um modelo de informação apropriado, a fim de facilitar o manejo favorável à conservação e incluir o Nível de desenvolvimento - *Level of Development* (LOD), Nível de Informação - *Level of Information* (LOI) e o Nível de Detalhe - *Level of Detail* (LoD) dos modelos (figura 7) conforme definições da BIM e do processo usado para criar o(s) modelo(s). do Instituto Americano de Arquitetos (AIA) *Digital Practice Documents - Guide, Instructions and Commentary* (AIA, 2013):

- 1.4.2 Modelagem de informações de construção. Modelagem ou Modelagem de Informações de Construção significa o processo usado para criar o (s) Modelo (s).
- 1.4.3 Elemento do modelo. Um Elemento de modelo é uma parte do modelo que representa um componente, sistema ou montagem dentro de uma construção ou local de construção.
- 1.4.4 Nível de desenvolvimento. O Nível de Desenvolvimento (LOD) descreve os dados dimensionais, espaciais, quantitativos, qualitativos

e outros mínimos incluídos em um Elemento do Modelo para dar suporte aos Usos Autorizados associados a tal LOD.

(AIA, p. 10–11, 2013 tradução nossa)<sup>9</sup>

Figura 7 – Padrões de níveis BIM LoD, LOD, e LOI



Fonte: (SPBIM, 2020)

Basicamente são seis tipos diferentes de LoDs (Figura 8) os quais segundo Cuperschmid et al (2018) os LoDs são referências para que “os agentes da indústria da construção especifiquem os entregáveis BIM e para contratos e planejamento de trabalhos baseados em BIM” os quais podem ser basicamente seis tipos diferentes de LoDs:

LoD 100 equivale ao projeto conceitual;

LoD 200 é semelhante ao projeto esquemático;

LoD 300 possui informações precisas relativas uma quantidade, forma, dimensão, localização e orientação dos elementos do modelo;

<sup>9</sup>1.4.2 *Building Information Modeling.* *Building Information Modeling or Modeling means the process used to create the Model(s).*

1.4.3 *Model Element.* *A Model Element is a portion of the Model representing a component, system or assembly within a building or building site.*

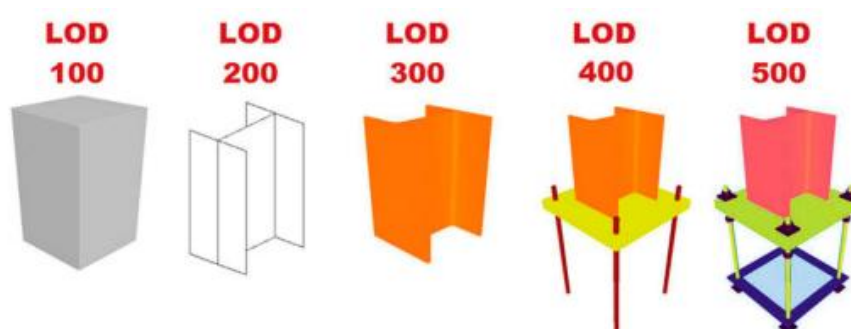
1.4.4 *Level of Development.* *The Level of Development (LOD) describes the minimum dimensional, spatial, quantitative, qualitative, and other data include in a Model Element to support the Authorized Uses associated with such LOD.*

LoD 350 incorpora, suplementar -mente, os elementos incluídos à compatibilização entre disciplinas, à coordenação de projetos, permitindo uma verificação automática de interferências;

LoD 400 inclui, adicionalmente, detalhamento e especificações sobrefabricação e montagem

LoD500 representantes do projeto como foi realmente construído, equivale ao as-built (BIMFO-RUM, 2013 apud CUPERSCHMID,2018, p. 187).

Figura 8 – BIM Levels of Development (LoD)



Fonte: (RODRIGUES-MORENO et al 2016)

Conforme Rocha et al (2020) a metodologia para edificações existentes difere de quando é aplicada a novos projetos, a “engenharia reversa” aplicada a uma construção de valor patrimonial, a digitalização a laser e processos de levantamento fotogramétricos, contribuem para modelagem de informações de edifícios históricos HBIM. López et al (2018) diz que poucos documentos tratam do processo de engenharia reversa, com ou sem BIM, bem como dos processos de interoperabilidade, gerenciamento, documentação e manutenção da construção do modelo “as-is Hoje em dia, o BIM tem evoluído significativamente no domínio da gestão e documentação do património cultural o qual pode ser representado, em um ambiente virtual, o estado de conservação das construções de interesse cultural.

Assim, são diversas as possibilidades para a utilização da metodologia HBIM, com enormes vantagens sobre os métodos tradicionais de documentação, intervenção e conservação como: simular todos os processos do projeto de restauração/intervenção, investigar os possíveis conflitos de projeto analisar e simular todas as soluções estruturais propostas ao edifício, detectar conflitos de projeto, gerenciamento e planejamento de obras, gerenciamento de dados sobre futuras

manutenções no patrimônio, unificar todas as informações obtidas por meio de levantamentos, assim como documentações de históricos de intervenções e a própria trajetória do edifício, entre outras.

Com isso, a documentação científica juntamente com a metodologia HBIM, se torna um processo cíclico, onde os metadados vão ser sempre reabastecidos e adicionados aos modelos, servindo como fonte para tomadas de decisões, gerenciamento e futuras intervenções, devendo ser sempre documentado e armazenado no modelo HBIM onde representa uma abordagem para a conservação preventiva de construções históricas e em protocolos de inspeção.

Segundo Morar et al (2021, p.1), a documentação e a gestão das informações baseadas em HBIM oferecem várias vantagens em comparação com métodos tradicionais, tais como: “centralização de informações, análise das diferentes intervenções realizadas e uma comunicação fluida” as quais possibilitam abordagens como “análise estrutural avaliação de danos, restauração, documentação e representação digital”.

Rodrigues-Moreno et al (2016) descrevem a metodologia HBIM como um diferencial para a gestão das informações do patrimônio arquitetônico uma vez em que todas as informações coletadas e produzidas são reunidas em um único arquivo digital onde o “modelo” pode ser usado para a geração de uma grande quantidade de informações diversas em formatos qualitativos e quantitativos: desenhos 2D, representações 3D com diferentes níveis de detalhes.

Com relação a metodologia HBIM, associada a documentação de patologias das construções, Cuperschmid e da Silva (2019) realizaram uma análise quantitativa de publicações entre 2010 e 2019 (Figura 9). Observa-se um crescimento exponencial de publicações que tratam de HBIM concomitantemente às patologias de edificações históricas, mesmo que ainda pequena, demonstrando a necessidade de mais pesquisas nesta área.

Visando contribuir para as pesquisas em HBIM, este trabalho tem como um de seus objetivos específicos a geração de metadados para a execução de um modelo HBIM.

### 2.5.1 Necessidade de padronização da documentação em mídias sociais

A interface do modelo BIM facilita a **exportação** para outros programas para a realização de análises e simulações estruturais e climáticas, por exemplo. Também pode ser utilizado para diferentes sistemas de informação, assim como a própria extroversão do patrimônio com a utilização da Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA) na plataforma web, dentre outros.

As discussões internacionais sobre padronização das formas registrar e armazenar arquivos digitais, reforça a necessidade de investir na preservação dos arquivos digitais. Devido aos avanços tecnológicos, os arquivos digitais, precisam constantemente de atualização ou correm o risco de ficarem obsoletos (GERMANA, 2018), além de outros riscos como: armazenamento inadequados e a degradação de dados digitais.

No mercado há diversos programas que desenvolvem projetos na plataforma BIM, como por exemplo, o Revit e o Archicad. Segundo Leea, Eastman e Solihin (2018), para que haja uma troca de informações de modelos elaborados em softwares distintos, atualmente está sendo utilizado pela indústria e pela construção civil, um formato neutro e normatizado, o *Industry Foundation Classes* (IFC).

Ainda segundo Leea, Eastman e Solihin (2018), a utilização de uma padronização como o IFC, em modelos BIM direcionados para o patrimônio, facilitará o fluxo de registros e informações elaborados em diversas partes do mundo. O IFC, é um padrão de regras, estruturas e codificações de dados BIM, interoperáveis, intercambiáveis e reutilizáveis, que fazem com que o fluxo de dados funcione independentemente dos softwares utilizados, sendo fundamental para a prática do *openBim*.

Em 15 de julho de 2015, a UNESCO elaborou uma carta de recomendações referente à preservação e acesso ao patrimônio documental, inclusive em formato digital<sup>10</sup>, onde define padrões como base para a proteção documental mundial (UNESCO,2015).

---

10

[https://en.unesco.org/sites/default/files/2015\\_mow\\_recommendation\\_implementation\\_guidelines\\_en.pdf](https://en.unesco.org/sites/default/files/2015_mow_recommendation_implementation_guidelines_en.pdf)

Devido à fragilidade e obsolescência dos arquivos e softwares, o Instituto Nacional de Pesquisa Francês para as Ciências Digitais (INRIA) criou o projeto que constitui em proteger os códigos fontes, o programa *Softwareheritage*<sup>11</sup>, sendo o primeiro arquivo de software do mundo que possui colaboração da UNESCO, além de outros programas de preservação e acesso ao patrimônio documental, incluindo o programa “Memória do Mundo”<sup>12</sup> e o “Software Livre e de Código Aberto”<sup>13</sup>.

A proteção dos códigos fontes de *softwares*, evita que o patrimônio digital se torne inacessível. Sem as chaves dos programas, as instituições de memória não poderão garantir a acessibilidade e a preservação de documentos e mídias digitais.

A padronização e a regulamentação do desenvolvimento de modelos tridimensionais deverão utilizar uma linguagem de dados comum e de preferência com códigos abertos, que facilitem o fluxo e o intercâmbio de modelos informativos. Segundo Germana (2018), *softwares* com a tecnologia BIM derivam das evoluções dos *softwares* CAD usados no campo da construção civil, e implicam não apenas modelos 3D mas possibilitam a criação de um arquivo único contendo informações adicionais no modelo, em sistemas mais complexos, incluindo procedimentos e ferramentas para gerenciar o projeto e o objeto modelado (NOARDO, 2020).

Na era digital, a *Internet*, promove a divulgação da informação em escala internacional quase que instantaneamente, e enfatiza a necessidade de padronizar globalmente, o armazenamento e a compatibilização de dados com programas que proporcionam o acesso aos códigos fontes ou a utilização de software de código aberto. Desta forma, irão democratizar o acesso aos arquivos digitais, sendo eles de países mais avançados tecnologicamente ou não.

A padronização internacional facilitará não apenas o diálogo entre as diversas áreas de conhecimento que envolvem a ciência do patrimônio assim como as interfaces de metadados entre elas (Figura 9), além de também possibilitar o acesso da população em geral (UNESCO, 2015), podendo-se utilizar de recursos, como imagens 3D, Realidade Aumentada, incursões 360°, filmagens com drones entre outros. Assim como a democratização das informações, as quais poderão ser

---

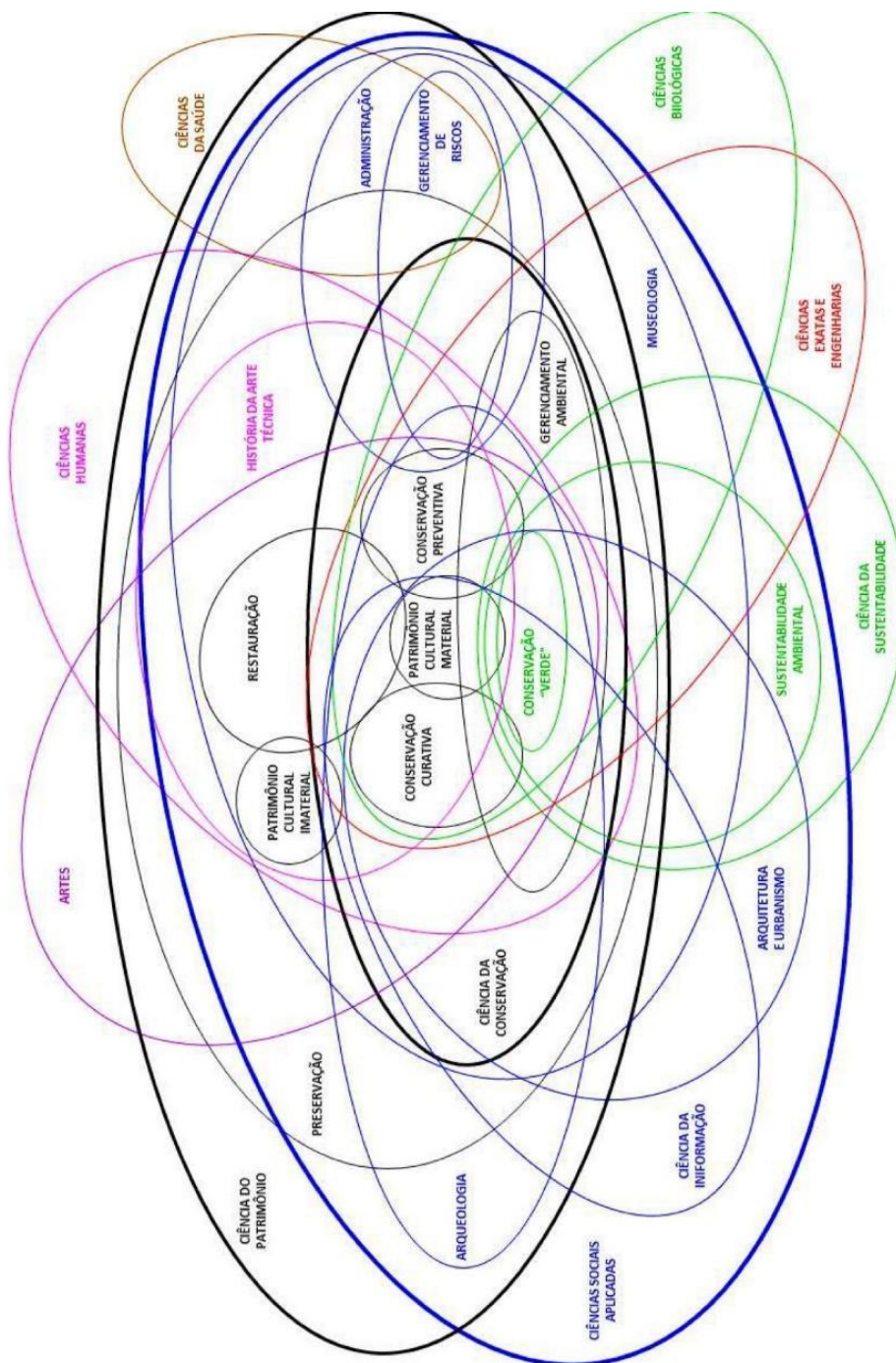
<sup>11</sup> <https://www.softwareheritage.org/>

<sup>12</sup> <https://en.unesco.org/programme/mow/register>

<sup>13</sup> <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000246018>

acessadas através de dispositivos que cabem na palma da mão, como tablets e smartphones, conectados à internet.

Figura 9 - Interfaces entre áreas de conhecimento na Ciência do Patrimônio



Fonte: (GONÇALVES, 2013)

## 2.6 Modelos de aquisição de informações e representações bi- e – tri dimensionais

As tecnologias de sistemas CAD e metodologia BIM demonstram uma mudança de paradigma no uso das ferramentas de projeto e desenho por computador, possibilitam realizar a modelagem tridimensional a partir dos levantamentos, sejam eles por fotogrametria, escaneamento a laser ou Sensoriamento Remoto realizado por RPAs. A modelagem assume características e níveis distintos de detalhamento de acordo com as informações obtidas no levantamento e na tecnologia escolhida.

Conforme Grussenmeyer, Boehm e Barazzetti (2020), a digitalização a *laser* e a fotogrametria têm um papel fundamental no levantamento das instalações existentes, especialmente para a geração de modelos paramétricos executados de forma precisa e detalhada. A integração da fotogrametria e digitalização a *laser* com a metodologia HBIM, é um excelente recurso para documentar a condição de uma edificação.

López et al (2018) descrevem que o procedimento de reconstrução virtual do patrimônio histórico-cultural não é uma tarefa fácil, pois geralmente os objetos são possuem características e morfologias heterogêneas, complexas e irregulares. Ainda segundo López *et al* (2018). o modelo 3D digital deve ser convertido em um quadro de referência, que servirá para o entendimento e monitoramento da documentação, gerando uma fonte de dados que auxiliam em projetos de conservação, restauração e reconstrução.

Ainda Segundo López *et al* (2008), a digitalização 3D e tecnologias de fotogrametria juntamente com análises bibliográficas históricas associadas as ferramentas BIM e GIS veem se demonstrando eficazes para gerenciar e modelar dados gráficos (nuvens de pontos) e semânticos (informações histórico-constructivas).

### 2.6.1 Fotogrametria e aerofotogrametria

A palavra fotogrametria é formada da junção de três palavras de origem grega “*photon*” (luz), “*grafos*” (descrição) e “*metron*”, podendo ser definida como a ciência aplicada, a técnica e a arte de extrair de fotografias métricas, a forma, as feições, as dimensões e a posição dos objetos nelas contidos.

Segundo Oliveira (2008), os “fundamentos da fotogrametria repousam sobre a geometria da projeção central e da perspectiva”, onde a percepção da visão

tridimensional é produzida através visão estereoscópica<sup>14</sup>, obtida a partir de duas imagens de um mesmo objeto, com pontos de vista distintos e observadas simultaneamente por apenas um dos olhos. O estereoscópio, é um aparelho que facilita a interpretação do cérebro a obter esta sensação de volume obtidas por meio de duas imagens planas e seus princípios físicos.

A estereoscopia não é o fundamento único da fotogrametria, embora seja o princípio básico utilizado nos programas de computador contemporâneos, ainda segundo Oliveira (2008) Meydenbauer trabalhou anos com a restituição<sup>15</sup> gráfica obtidas através de uma só fotografia e dependendo da forma do edifício é possível aplicar os processos de “monorrestituição”.

A possibilidade de retificar as imagens fotográficas é outro procedimento empregado na fotogrametria a qual a técnica envolve em remover a deformação da perspectiva baseados no conhecimento de pelo menos uma verdadeira grandeza da parte de uma imagem.

O estado da arte das técnicas de fotogramétricas digitais incluem a obtenção de "nuvens de pontos", seja por imagens fotográficas ou por varredura a laser, recriando objetos 3D e estruturas a partir de uma grande quantidade de pontos referenciados baseados na captação da estrutura real, “essas técnicas têm permitido o levantamento de grande quantidade de informações, de modo mais preciso e rápido se comparado com os métodos tradicionais” (GROETELAARS, 2015, p. 49).

A fotogrametria já faz parte das discussões internacionais de documentação digital há bastante tempo, a qual destacamos o Comitê Internacional de Fotogrametria e Arquitetura - Comité International de *Photogrammétrie Architecturale* (CIPA), fundado em 1968, considerado um dos mais antigos comitês científicos internacionais do Conselho Internacional de monumentos e sítios (ICOMOS) criado em colaboração com a Sociedade Internacional de Fotogrametria e Sensoriamento

---

<sup>14</sup> A estereoscopia, que nos dá a ideia de terceira dimensão, fundamenta-se, por sua vez, na visão humana, desde quando foi tomado conhecimento de que a paralaxe do eixo dos nossos olhos permite a visualização das imagens em 3D (OLIVEIRA, 2008, p. 84)

<sup>15</sup> É a passagem da imagem da forma aparente como ela se apresenta ao espectador, ou seja, como se vê na fotografia, para a forma real, que corresponde às projeções ortogonais exatas do objeto, em escala e medidas corretas.

Para essa operação, havia a exigência de instrumentos de grande complexidade mecânica, particularmente enquanto os métodos de restituição eram exclusivamente analógicos. Quando foram implementados os processos analíticos, a construção desses instrumentos tornou-se menos complexa e na passagem para a restituição digital, a partir dos anos 90, mais simples ainda, barateando enormemente a técnica da fotogrametria aproximada ou terrestre. (OLIVEIRA, 2008, p. 88)

Remoto - *International Society of Photogrammetry and Remote Sensing* (ISPRS) (ROBLES, GARCÍA e RUIZ, 2010). Ao passar dos anos, este comitê passou a aplicar a tecnologia a partir da medição, da visualização e das ciências da computação com o intuito de conservar e documentar o patrimônio cultural, passando a se chamar *CIPA Heritage Documentation*.

#### 2.6.1.1 Fotogrametria digital

A fotogrametria digital pode ser executada utilizando Estações Fotogramétricas Digitais (DPW-Digital Photogrammetric Workstation) para a representação e a criação do espaço-objeto tridimensional), derivado de imagens retificadas (BRANDALIZE, 2001). Essa técnica pode ser considerada de fácil acesso e baixo custo, podendo ser também executada utilizando-se câmeras digitais portáteis e até mesmo as câmeras fotográficas dos telefones celulares, resultando em produtos de diferentes qualidades, em termos de resolução e detalhamento.

O método fotogramétrico é útil para situações em que usar equipamentos tradicionais é demorado ou mesmo impossível, e nos casos em que a digitalização a laser é menos indicada devido ao tamanho do local ou locais inacessíveis (ROCHA, MATEUS, et al., 2020).

#### 2.6.1.2 Escaneamento a Laser (*light amplification by stimulated emission of radiation*)

Assim como a fotogrametria digital, esta técnica passa pela obtenção de nuvens de pontos, neste caso obtidas a partir da varredura das superfícies dos objetos por feixes de raios laser, empregando aparatos específicos. Permite a captura automática de grande quantidade de dados em curto espaço de tempo, e possibilita a conversão do modelo básico de “nuvem de pontos” em modelos tridimensionais (GROTELARS e AMORIM, 2011).

Rocha et al (2020) explicam que ambas as técnicas (escaneamento a laser e fotogrametria), geram arquivos de nuvem de pontos os quais representam a geometria capturada de todo o edifício.

As principais diferenças entre Fotogrametria e Escaneamento a Laser (Quadro 3) - No escaneamento a Laser a geração dos dados 3D é automática enquanto a fotogrametria possui um baixo custo, mas a modelagem é manual (BRANDALIZE, 2001).

Quadro 3 – Comparativo entre fotogrametria e escaneamento a laser

Critério de comparação	Fotogrametria	Laser
Tipo de sistema	Sistema Passivo	Sistema Ativo
Tipo de Sensor	Sensor linear ou com quadro negativo fixo com geometria de perspectiva	Sensor pontual com geometria polar
Tipo de cobertura de informação	Cobertura em área	Informação pontual
Modo de aquisição de informação	Aquisição de informação de forma indireta	Aquisição direta de coordenadas X, Y e Z
Tipo e qualidade de imagem	Imagens de qualidade geométrica e radiométrica alta	Nenhuma imagem ou de qualidade inferior
Aquisição de dados	Objetos pequenos são de difícil interpretação conforme escala - não existe imagem abaixo da vegetação	Habilidade de posicionamento de objetos de pequenas dimensões, penetração na vegetação ...

Fonte: adaptado de (BALTSAVIAS, 1999 apud. BRANDALIZE 2001 pg.14).

### 2.6.1.3 Aerofotogrametria

Conforme conta Oliveira (2008), a primeira foto aérea reconhecida, foi obtida a partir de um balão de ar quente a sobrevoar Paris, em 1858, pelo jornalista e fotógrafo Félix Nadar, já em 1983 foi desenvolvida uma técnica cartográfica obtida a partir de fotos aéreas, hoje conhecida como aerofotogrametria.

A aerofotogrametria é uma técnica cartográfica que consiste na utilização de registros fotográficos aéreos para a obtenção de informações referentes a um determinado local. Atualmente o voo fotogramétrico é realizado por uma aeronave, na qual é acoplada uma câmera de alta resolução, onde as imagens obtidas são processadas com porcentagens de sobreposição o ortomosaico.

### 2.6.1.3 Aerofotogrametria por RPA

Nesta modalidade o registro fotográfico é realizado por RPAs, popularmente conhecidos como *drones* (ARAUJO, 2017). Eles são equipados com câmeras de alta resolução, proporcionando, além das análises de fotografias e filmagens, a geração



precisa de produtos cartográficos em ambiente Sistema de Interação Geográfica (SIG). As imagens geradas pelos RPAs são baseadas nos princípios da fotogrametria, obtidas a partir do mesmo ponto, e permitem a visualização de todo o contexto, podendo ser convertidas em imagens 360°, panorâmicas, ortomosaicos georreferenciados, nuvem de pontos e até imagens térmicas, sendo assim resultados semelhantes seriam impossíveis de se obter por meio de um satélite, de um avião convencional ou por um observador no solo (SANTOS, HENRIQUES, *et al.*, 2016). A utilização das Aeronaves Remotamente Pilotadas, para diversos segmentos da engenharia, estão cada vez mais comuns no Brasil e estão demonstrando um ótimo custo-benefício diante, as inúmeras aplicabilidades da ferramenta.

Equipados com câmeras especiais, os RPAs podem gerar imagens que podem contribuir para o monitoramento do patrimônio como inspeções aéreas de coberturas e fachadas sendo acessadas remotamente por um profissional evitando desta forma, riscos operacionais.

Atualmente, no mercado há dois modelos de RPAs: com asas fixas e com multirotores: os modelos com asa fixa são semelhantes a pequenos aviões em que o sistema de lançamento ocorre com o auxílio de uma catapulta, enquanto o pouso pode ocorrer de maneira linear ou com a ajuda de paraquedas. Já os multirotores funcionam como um mini helicóptero e com o sistema de pouso e decolagem em linha vertical, possibilitando o uso em locais de difícil acesso, sendo o mais recomendado para inspeções no ambiente da construção civil (Quadro 4).

A aerofotogrametria obtida por RPA se baseia normalmente na utilização do “drone” para se fazer um levantamento aero fotográfico em diferentes posições, o voo deve ser realizado em linha, para que um software de fotogrametria possa sobrepor as imagens a uma taxa média de 70%, que irá gerar um ortomosaico a partir das fotos obtidas e um modelo 3D em nuvens de pontos. Estes softwares identificam pontos que consideram idênticos em mais de uma fotografia e calculam sua posição estimada, atribuindo para cada ponto, coordenadas X, Y e Z. As RPAs normalmente operam com um Sistema de posicionamento Geográfico (GPS) que identifica as fotografias com coordenadas geográficas proporcionando resultados georreferenciados. O voo pode ser totalmente pré-programado previamente com a utilização de aplicativos específicos para voos autônomos, restando ao piloto conferir o trajeto definido e estando preparado para qualquer eventualidade que possa acontecer, como a perda de sinal, pássaros e ventos fortes.

Quadro 4 – Diferenças entre modelos de asa fixa e multirotores

DIFERENÇAS QUANTO A	 ASA FIXA	 MULTIROTOR
Modo de decolagem	Lançamento Horizontal	Decolagem Vertical
Modo de Pouso	Aterrissagem horizontal ou por paraquedas	Pouso Vertical
Áreas de atuação	Mais indicados para áreas extensas e sem obstáculos	Utilizados em pequenas áreas, que exigem melhor mobilidade.
Autonomia de Voo	Fornece maior autonomia	Tempo de voo menor devido ao número de motores
Velocidade	Alcança maiores velocidades	Velocidade menor
Modelo indicado para voos em ambiente urbano	Não	Sim

Fonte: (IBAPE-MG, 2019)

### 2.6.2 Calibração da distância de amostragem do solo - *Ground Sample Distance* (GSD)

Para que seja possível uma análise técnica das imagens coletadas na inspeção, a qualidade das imagens é fundamental. Segundo Grahan e Koh (2002, p.164) para capturar imagens com uma precisão desejada no levantamento aéreo, é necessário fazer uma relação da distância focal e a lente de captura por meio da regra da geometria de semelhança de triângulos. Sendo assim, o GSD é a porção do terreno que será contida em um pixel, ou seja, quanto menor for o GSD menor será a porção do terreno contida em um pixel.

O aplicativo de planejamento de voo PIX4D© (gratuito), além de no próprio planejamento do voo, gerar o cálculo automático do GSD em acordo com equipamento a ser utilizado, no site do aplicativo há uma calculadora de GSD, que calcula a altura necessária em acordo com os parâmetros do equipamento, conforme (Figura 10). Nota-se que para uma melhor acurácia de resultados, é necessário a utilização de **pontos de controle**, que são marcadores artificiais ou naturais (em solo), que devem ser georreferenciados com a utilização de um GPS, com a finalidade de calibrar as, com marcadores artificiais ou naturais.

Figura 10 - Calculadora de GSD online

**PIX4D**

**GROUND SAMPLING DISTANCE CALCULATOR**

**Instructions**

1. Enter the Sensor Width (millimeters) in cell C14
2. Enter the Focal Length (millimeters) in cell C15 (real focal length, not 35 mm equivalent)
3. Enter the Flight Height (meters) in cell C16
4. Enter the Image Width (pixels) in cell C17
5. [Optional] Enter the Image Height (pixels) in cell C18
6. Hit Enter

**Calculator**

Sw	35	= the sensor width of the camera (millimeters)
FR	20	= the focal length of the camera (millimeters)
H	22,75	= the flight height (meters)
imW	4000	= the image width (pixels)
imH	3000	= the image height (pixels)
GSD	1,00	= Ground Sampling Distance (centimeters/pixel)
Dw	40	= width of single image footprint on the ground (meters)
DH	30	= height of single image footprint on the ground (meters)

**GSD Calculator**

Fonte: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202560249-TOOLS-GSD-calculator>

### 2.6.3 Pontos de controle

Os pontos de controle são coordenadas conhecidas em solo que auxiliam os softwares calcularem a posição da câmera no instante da captação das fotos, o que resulta em modelos com mais precisão. Os GPS integrados na maioria das RPAs, não possuem alta precisão, mas já existem drones que contam com GPS – RTK ou PPK<sup>16</sup>, os quais são capazes de gerar levantamentos precisos sem o uso de pontos de controle.

<sup>16</sup> Um drone PPK voa com um receptor GNSS PPK a bordo que coleta dados de satélites e os registra para recuperação após o voo. Os dados de satélite de um receptor GNSS em uma estação base (terrestre) próxima são coletados e, após o voo, são incluídos nos dados do drone para corrigir o erro do sinal do satélite, reduzindo a precisão para uma faixa de nível de cm (sub-polegada).

Um drone RTK carrega um receptor GNSS RTK a bordo que coleta dados de satélites e uma estação base estacionária (terrestre) para corrigir com mais precisão a localização da imagem, em tempo real enquanto ele voa. Fonte: <https://wingtra.com/ppk-drones-vs-rtk-drones/> acesso em 20/10/2021.

As formas do ponto de controle, podem variar, mas geralmente é um alvo em forma de X, mas também pode ser um ponto natural ou artificial desde que seja identificável nas imagens.

#### 2.6.4 Aplicativos de planejamento de voo

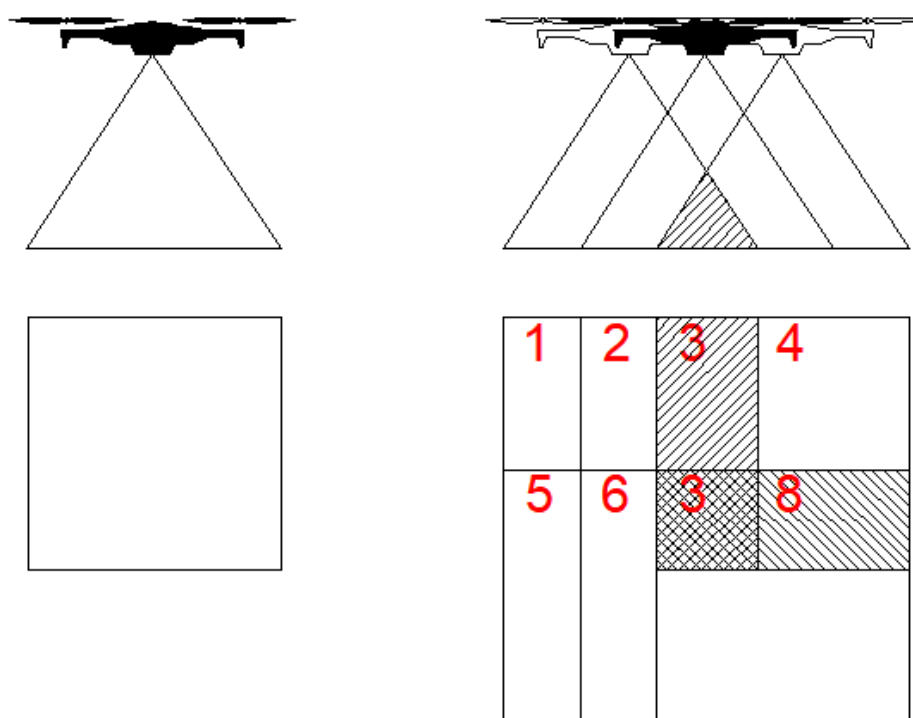
Há diversos aplicativos para o planejamento de voo voltados para a fotogrametria, entre eles se destacam o *Dronedeploy*®, *DJI Ground Station Pro*, *Mappa*®, *Precision Flight*, *SkyDrones*® (gratuito e brasileiro) e o *Pix4dcapture*® o qual, após alguns testes foi escolhido para ser utilizado nesta pesquisa, por ser de fácil manuseio, gera resultados satisfatórios e é gratuito.

O aerolevanteamento, pode ser feito com o voo manual, mas exige muito da habilidade do piloto e não se pode ter a certeza de que o mesmo voo, poderá ser realizado em outro dia com as mesmas coordenadas.

#### 2.6.5 Softwares para processamento de imagens aplicados à fotogrametria

Um dos *softwares* para processamento de imagens obtidas por RPA é o *Agisoft Metashape*®, o qual recomenda para a geração de um modelo 3D com qualidade, uma sobreposição frontal de 80% e 60% de sobreposição lateral das fotografias (Figura 11).

Figura 11 - Esquema da sobreposição de imagens para geração de imagens fotogramétricas



Fonte: Elaborado pelo autor

O *Agisoft Metashape*®, possui uma vantagem em relação a outros aplicativos de processamento de imagens voltados para aerolevanteamento, após o processamento das imagens, o programa gera um novo plano de voo com objetivo de capturar os pontos que falharam durante o processamento, melhorando muito a qualidade do modelo.

O plano de voo, gerado pelo *Agisoft Metashape*®, pode ser exportado para qualquer aplicativo de planejamento do voo. A desvantagem do programa é que é um software com um custo elevado (\$3.499,00 dólares anual ou \$179 ,00 dólares mensal) há também a versão educacional onde o valor está \$549,00 dólares anual e \$59 ,00 dólares mensais (AGISOFT).

O *OpenDroneMap* é um software gratuito para o processamento de imagens, possui uma plataforma próxima ao *Agisoft Metashape*®, sendo uma excelente opção para processar as imagens de forma gratuita.

Outra forma de processar as imagens com baixo custo, sem possuir um computador potente e o programa *Agisoft Metashape*, é alugar um supercomputador

no *Geocloud*<sup>17</sup> que já vem com o programa instalado. O custo médio para alugar um computador remoto fica em torno de \$10 dólares por hora, pagos em *paypal* e dependendo da quantidade de imagens e o tamanho do levantamento (uma hora é suficiente), devido a velocidade de processamento do computador alugado.

## 2.7 Documentação científica aplicada ao monitoramento de manifestações patológicas construtivas

Referente ao estado da arte da documentação arquitetônica por imagens, Groetelaars (2015, p.49) refere sobre a utilização de métodos não intrusivos, conhecidos como **END** (Ensaio não Destrutivo) e **INI** (Inspeção não Intrusiva), para obter informações internas dos objetos como elementos estruturais, tubulações, dentre os quais se destacam a **Termografia Infravermelho, o Georradar (Ground Penetration Radar - GPR) e a Radiografia (por raios X ou raios gama)**".

**Ensaio Não Destrutivo – END** - Ensaio Não Destrutivo (END) são técnicas utilizadas na inspeção de materiais e equipamentos sem danificá-los, sendo executadas nas etapas de fabricação, construção, montagem e manutenção (ABENDI,2019).

**Inspeção Não Intrusiva – INI** - A Inspeção Não Intrusiva (INI) é uma metodologia para a inspeção de equipamentos industriais que possibilita mínima ou mesmo nenhuma interrupção em sua operação. Sua aplicação já é regulada de acordo com normas brasileiras, especificamente a norma ABNT NBR 16455 (CARNEVAL, SILVEIRA e CARMONA, 2020). A INI é baseada no histórico de avaliação da integridade de um equipamento e no conhecimento prévio de seus mecanismos de falha e sua provável localização - estabelece um rígido critério para a sua aplicação (MARQUES, 2016).

Segundo a Associação Brasileira de ensaios não Destrutivos e Inspeção (ABENDI, 2019), "normalmente é o primeiro Ensaio Não Destrutivo aplicado a qualquer tipo de peça ou componente", a inspeção visual é um importante recurso na verificação de alterações dimensionais, padrão de acabamento superficial e observação de descontinuidades superficiais, sendo dividido em duas categorias:

---

<sup>17</sup> <https://www.geocloud.work/>

**Ensaio Visual Direto** - é o ensaio visual realizado a olho nu que permite de uma forma rápida observar e identificar vários tipos de manifestações patológicas. (ABENDI, 2019).

**Ensaio Visual Remoto** - é utilizado nos casos nos quais a inspeção de peças e componentes não permitem o acesso interno para sua verificação (dentro de motores, turbinas, bombas, tubulações etc.) e nestes casos a utilização de sistemas compostos de fibras óticas conectadas a espelhos ou microcâmeras de TV com alta resolução e com o auxílio de sistemas de iluminação são eficientes (ABENDI, 2019).

Sendo assim, as ferramentas INI, mais utilizadas, que possuem métodos de longo alcance para levantamentos arquitetônicos como: a digitalização a laser terrestre, a fotogrametria e a aerofotogrametria (ROCHA, MATEUS, *et al.*, 2020), o estado da arte da documentação científica aplicada ao monitoramento de patologias construtivas, permite embarcar em um RPA, câmeras termográficas para realizar uma técnica não destrutiva para medir temperaturas ou observar os padrões de distribuição de calor a partir da radiação infravermelha, a inspeção termográfica. Sendo assim, as ferramentas INI, mais utilizadas, que possuem métodos de longo alcance para levantamentos arquitetônicos são: a digitalização a *laser* terrestre, a fotogrametria e a aerofotogrametria (ROCHA, *et al.*, 2020). O estado da arte da documentação científica aplicada ao monitoramento de patologias construtivas permite embarcar, em um RPA, câmeras termográficas para realizar uma técnica não destrutiva para medir temperaturas ou observar os padrões de distribuição de calor a partir da radiação infravermelha: a inspeção termográfica.

### 2.7.1 Utilização do RPA para o monitoramento e inspeção de edifícios

A inspeção visual é a primeira etapa de qualquer verificação de patologias em edifícios, a qual o observador deve ser qualificado e compreenda as técnicas construtivas e os materiais do estudo de caso. Para registro de informações é comum a utilização de recursos fotográficos os quais servem como material de apoio e documentação. As imagens obtidas na inspeção podem transmitir a escala da manifestação patológica e facilitar, compreensão e o monitoramento.

Segundo Santos (2017 apud BEDIN, 2019), o uso de RPA, em inspeção predial comumente utiliza recursos de fotogrametria e tem se demonstrado favorável, sendo capaz de capturar manifestações patológicas observadas visualmente, e facilitando a compreensão e o monitoramento de anomalias (Quadro 5).

Quadro 5 – Características do uso de RPA para inspeção visual

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

Fonte: adaptado de (SANTOS,2017 apud BEDIN, 2019, p. 37)

Diversas técnicas vêm sendo utilizadas para mensurar as patologias registradas por câmeras digitais RGB, embarcadas em drone, as quais destacam-se como referência para o desenvolvimento dos métodos utilizados na pesquisa:

#### 2.7.1.1 Análise de imagens, com a utilização do software Adobe Photoshop

Eschmann, Kuo e Boller (2012), utilizaram uma RPA para inspeção de fachadas de um edifício, com o objetivo de monitorar trincas. Após obter imagens de alta resolução, processaram as imagens no software Photoshop com os seguintes procedimentos:

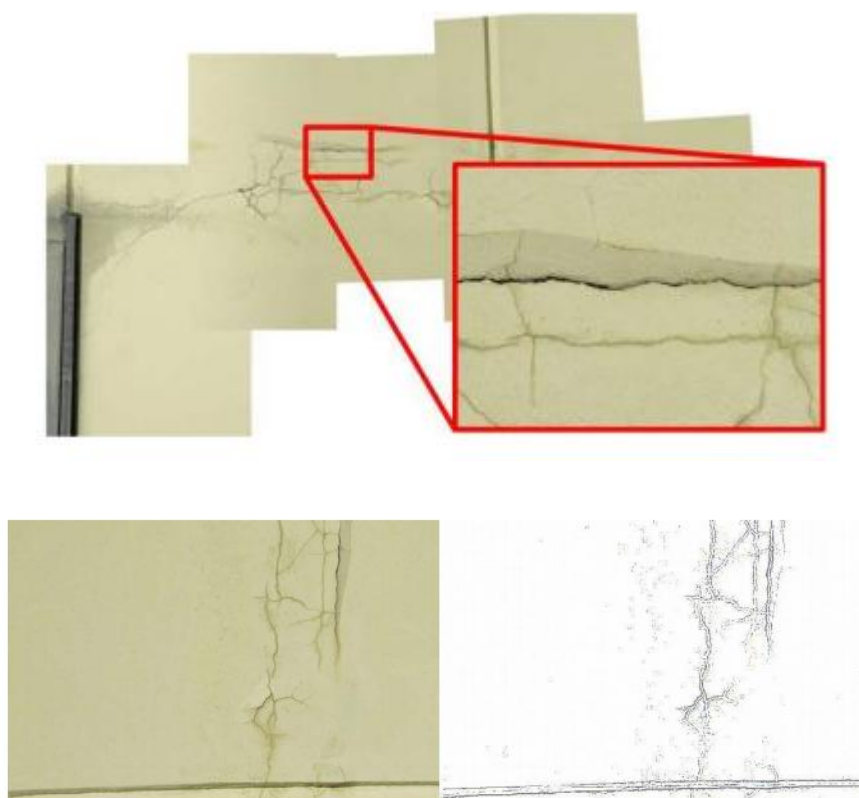
1- Adicionar valor de cor adicional: este método analisa o valor limite para determinar se cada pixel da foto precisa ser adicionado com mais "preto" ou 'Branco', resultando em áreas de rachadura pretas. No entanto, este método só funciona com paredes de cor cinza ou branca;

2- Detecção de borda: comando - Desfoque Gaussiano;

### 3 – Subtrair da imagem novamente.

A metodologia se tornou eficiente, quando as paredes dos edifícios a serem inspecionados forem de cor clara, transformando as rachaduras em linhas pretas e identificando suas posições e formas (Figura 12).

Figura 12 - Imagem original, e processo de detecção de bordas automático



Fonte: (ESCHMANN, KUO e BOLLER, 2012)

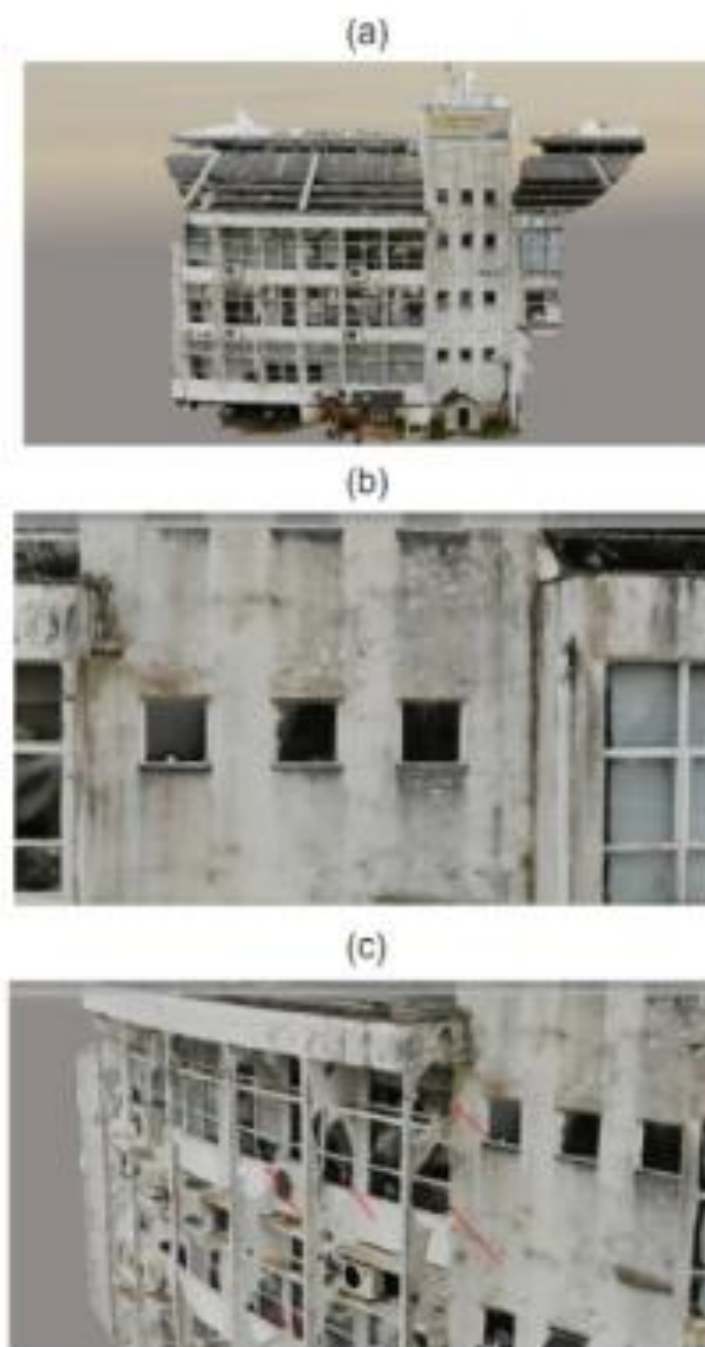
Neste procedimento metodológico Eschmann, Kuo e Boller (2012) concluíram que o método de detecção de borda ainda não é o perfeito, funcionando apenas com danos maiores, ficando a desejar ao analisar fissuras menores.

#### 2.7.1.2 Análise de pixels, de imagens obtidas através RPAs e laser scanner

Bedin (2019) realizou um estudo de inspeção do estado de conservação de fachadas, do departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de

Santa Catarina, onde as inspeções relacionadas aos RPAs e ao laser scanner mostraram-se como técnicas efetivas, principalmente pela possibilidade de análise de áreas maiores ao invés de pontos específicos, (Figura 13).

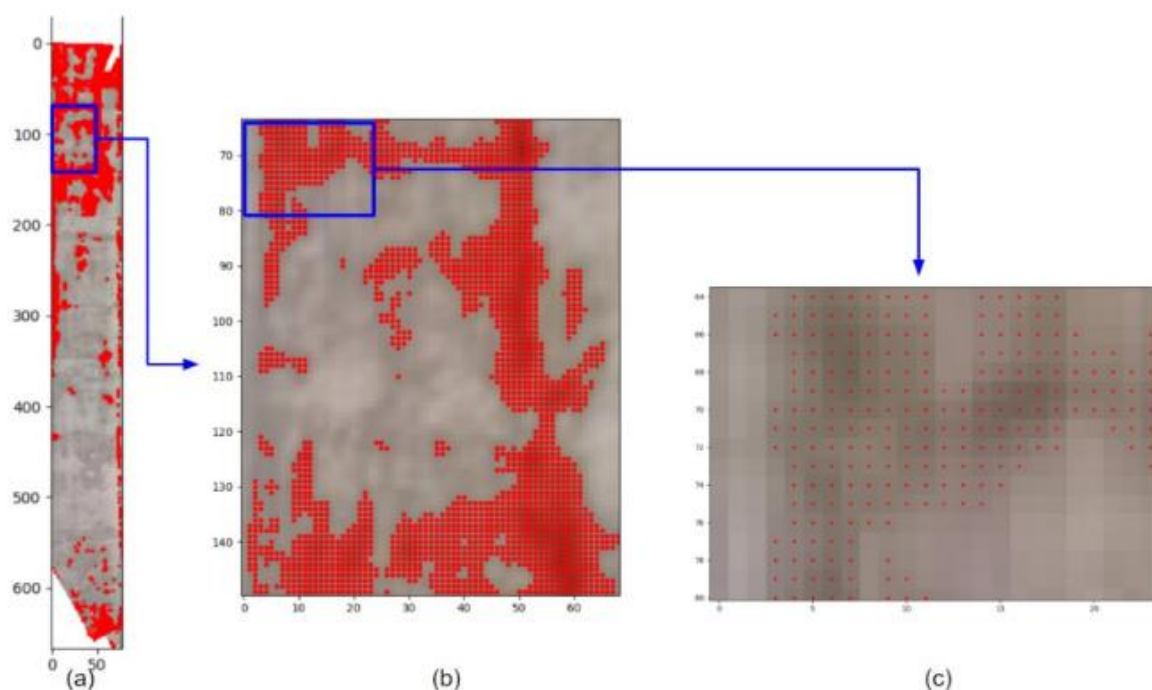
Figura 13 – Modelo digital - departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina



Fonte: (BEDIN, 2019)

Para a identificação, a autora alterou a cor RGB e a luminância dos pixels encontrados, acrescentados de algoritmo de binarização, o qual identificam os pixels como pertencentes ou não ao conjunto (Figura 14).

Figura 14 – Detecção de pixels



Fonte: (BEDIN, 2019)

Apesar de terem sido encontrados dados quantitativos, a metodologia proposta dificulta a representação fiel, devido a qualidade dos pixels obtidos.

### 2.7.1.3 Documentação 3D e Monitoramento Estrutural usando RPA

Germanese *et al* (2019) ao realizarem a documentação e o monitoramento de uma rachadura da *Fortezza Vecchia em Livorno* (Itália), utilizaram marcadores para fornecer informações 3D sobre pontos específicos ao longo da rachadura (Figura 15).

Figura 15 – Monitoramento de rachadura na *Fortezza Vecchia em Livorno* (Itália) com utilização de marcadores



Fonte: GERMANESE et al (2019)

Cada marcador distribuído ao longo da fissura fornece um conjunto de informações sendo: o conjunto de coordenadas 3D de cada canto do marcador, o conjunto das distâncias entre os baricentros de cada par de marcadores e as variações de ângulos associados a cada marcador.

O método utilizado pelos autores, possibilita o monitoramento ao longo do tempo, com o uso de RPA, diminuindo custos e riscos. Ainda segundo os autores, outra vantagem de tal técnica é que ela é minimamente invasiva e permite alcançar com alta precisão análise quantitativa da fissura.

Neste estudo de caso a utilização do RPA juntamente com os marcadores, demonstrou, uma forma de aquisição de dados rápida e repetível, em áreas de difícil acesso e com custos reduzidos.

#### 2.7.2 Termografia infravermelha para identificação de anomalias em edificações

Segundo Cortizo (2007), dentre as técnicas INI, a termografia Infravermelha tem sido utilizada em diversas aplicações na construção civil, para a detecção de

vazamentos, inspeção térmica de entorno de novas obras e testes térmicos para conservação de patrimônio histórico.

Entre as técnicas de termografia digital, a termografia passiva é caracterizada pela ausência de estimulação térmica artificial:

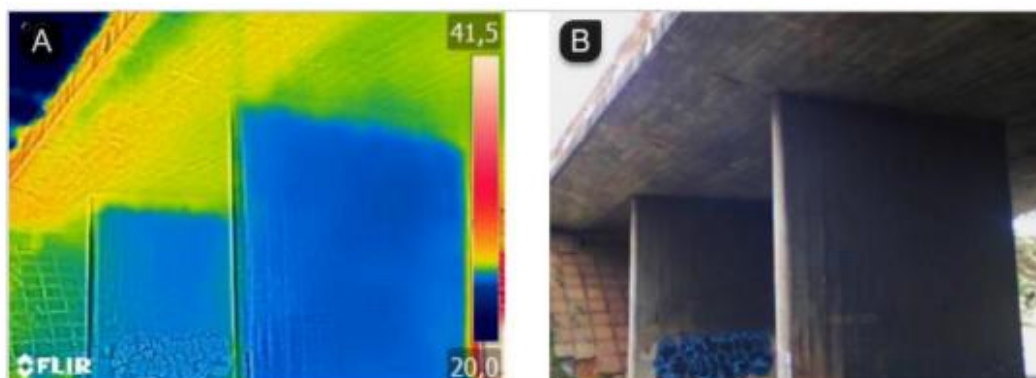
Na termografia passiva, condições de contorno naturais são utilizadas na análise, uma vez que nenhuma estimulação térmica é utilizada. Neste caso, deve existir uma diferença natural de temperatura entre o objeto sob estudo e o meio onde ele está inserido. (MALDAGUE,2001, p.34 apud CORTIZO, 2007)

A termografia permite a identificação de elementos e anomalias ocultos. Ainda segundo Cortizo (2007), os primeiros ensaios e medições do patrimônio histórico brasileiro utilizando a técnica da termografia infravermelha passiva foram realizadas pelo próprio autor, em outubro de 2006, na Igreja São Francisco de Assis, caso estudado nesta pesquisa. Cortizo (2006) utilizou a técnica de termografia passiva onde identificou anomalias na Igreja da Pampulha, como a presença de umidade no painel do altar mor.

#### 2.7.2.1 Inspeção termográfica utilizando RPA

Gomes e Barros (2018) estudaram a utilização de imagens termográficas como ferramenta no auxílio a inspeção de anomalias no viaduto localizado na Avenida das Nações/DF na altura da ponte das garças, os resultados obtidos indicaram que, embora haja uma distribuição diferente no termograma (Figura 16), não indica necessariamente a presença de alguma anomalia e sim apenas a distribuição de calor na estrutura.

Figura 16 – (A) termograma; (B) fotografia digital

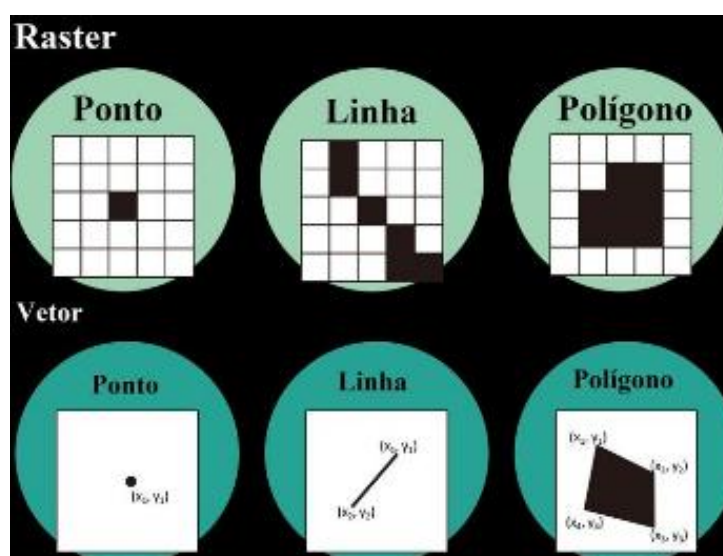


Fonte: (GOMES e BARROS, 2018)

## 2.8 Técnicas de processamento de imagens aplicadas a documentação científica do patrimônio cultural

Os dados espaciais, em SIG, têm dois formatos primários (arranjo de dados para armazenamento ou apresentação): *raster*/matricial e *vector*/vetorial. Segundo o Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélite (LAPIS, 2021), um conjunto matricial de dados define o espaço, como uma série de linhas e colunas, formando uma grade de células – uma matriz de pixels. Dados como valores de atributos e coordenadas, são armazenados dentro de cada célula (Figura 17).

Figura 17 – Diferença entre imagens Raster e Vetorial



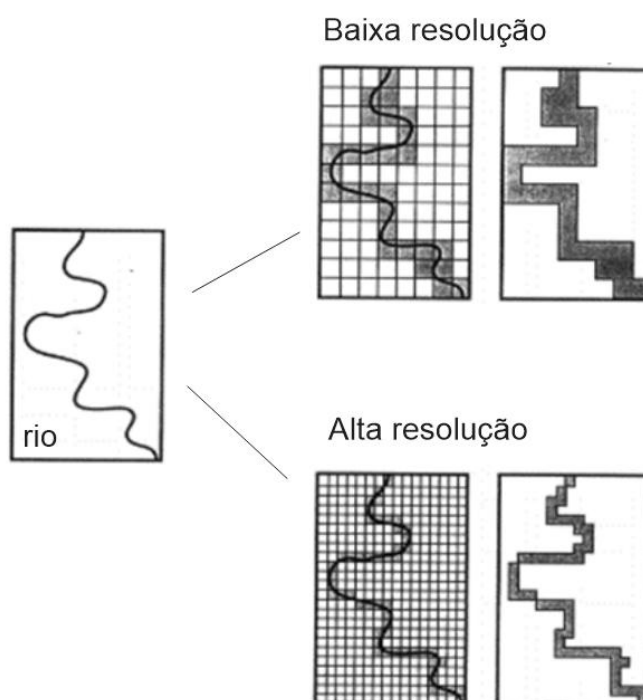
Fonte: (LAPIS, 2021)

Conforme Davis (2001), as estruturas matriciais e as estruturas vetoriais têm diferentes métodos de armazenamento e de visualização de dados espaciais, resultando em considerável diferença em armazenamento, sendo assim um ponto num sistema matricial é uma única célula, mas no sistema vetorial um ponto é apenas um nó representado por um símbolo com suas coordenadas de posição associadas (DAVIS, 2001).

### 2.8.1 Representação matricial

Marino (2010) conta que em um modelo matricial (ou *raster*) a imagem é representada por uma matriz  $M(i, j)$ , composta por  $i$  colunas e  $j$  linhas, que definem células, denominadas como pixels (*picture elements*). Com isso, cada pixel apresenta um valor referente ao atributo, além dos valores que definem o número da coluna e o número da linha, correspondendo, a um par de coordenadas  $x$  e  $y$ . Segundo Davis (2001) o maior problema relacionado às estruturas matriciais é o fato de que a forma das figuras é uma forma artificial de grade de células (Figura 18).

Figura 18 – Forma das feições em uma estrutura matricial



Fonte: adaptado de (DAVIS, 2001)

Segundo o Visual-LAB (2021), a Morfologia Matemática é uma poderosa ferramenta no processamento e análise de imagens, baseada principalmente na teoria de conjuntos. Segundo Amaral e Andrade (2017), esse método é utilizado para obtenção de características geométricas em imagens binárias, por meio da utilização de operadores morfológicos, para gerar uma nova imagem, a partir da imagem original combinada a uma imagem auxiliar, denominada elemento estruturante. A morfologia matemática Fuzzy é uma extensão da morfologia binária, que permite a utilização dos operadores em imagens coloridas e em escala de cinza.

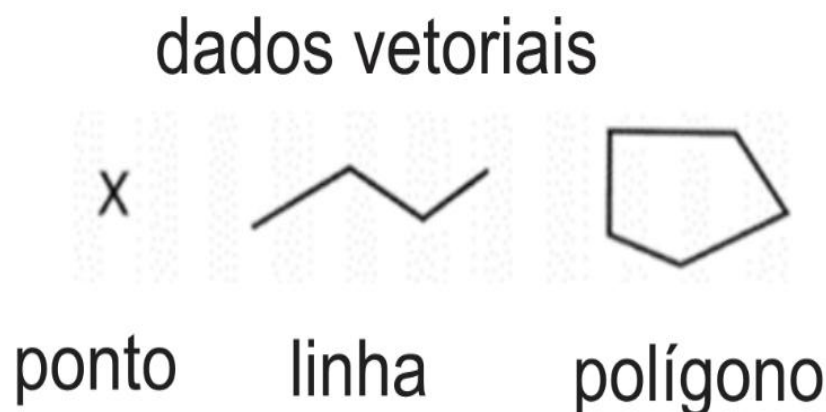
A Morfologia Matemática apresenta um modelo sistemático para extrair características geométricas de imagens binárias usando operadores morfológicos que transformam a imagem original em outra, por meio de uma terceira imagem, chamada elemento estruturante que teve origem em 1960 pelos pesquisadores Jean Serra e George Matheron. A morfologia matemática fuzzy estende os operadores morfológicos para imagens em tons de cinza e coloridas e foi inicialmente proposta por Goetherian utilizando a lógica fuzzy. (AMARAL e ANDRADE, 2017, p. 1)

Sendo assim, pode se dizer que uma imagem binária é composta por dois tipos de pixels (preto e branco), os do plano de fundo e o plano principal, que são representados normalmente usando preto e branco, ou 0 e 1, respectivamente, no modo binário.

### 2.8.2 Representação vetorial

Os dados vetoriais são definidos pela sua forma (Figura 19) Davis (2001) diz que em SIG, o sistema vetorial é uma estrutura de dados baseada em coordenadas, isso significa que cada ponto é localizado por suas coordenadas (X, Y) e Rodrigues (1990) complementa dizendo que são representados por conjuntos de traços, deslocamentos ou vetores, precisamente referenciados. Sendo assim um elemento vetorial tem suma forma representada pela geometria por um ou mais vértices interligados.

Figura 19 – Dados vetoriais



Fonte: adaptado de (DAVIS, 2001)

### 2.8.3 Principais diferenças entre Raster e Vetor

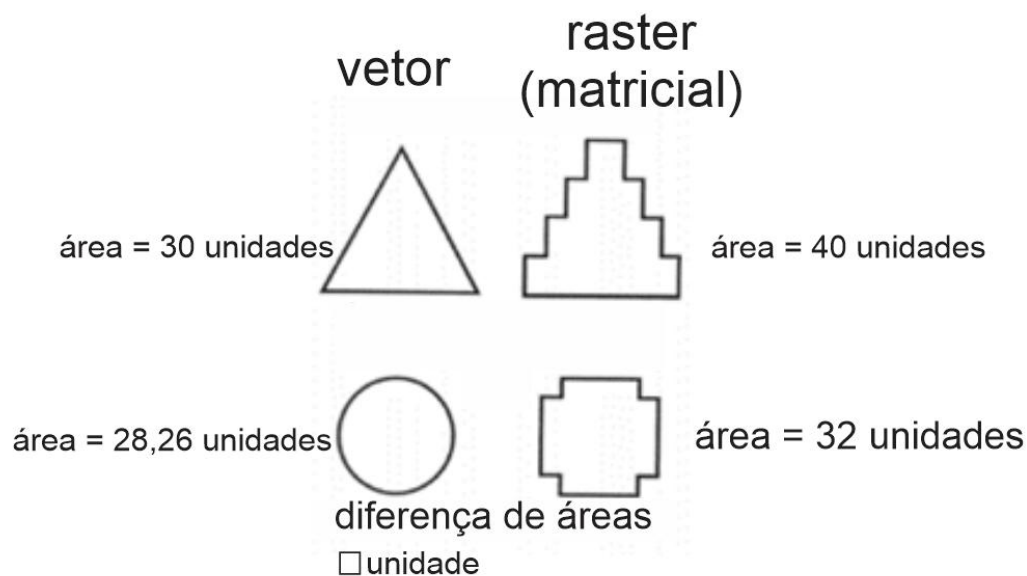
Com base nas informações de Davis (2001) foi elaborado um quadro comparativo entre os formatos matricial e vetorial considerando precisão, acurácia, processamento e tipo de informação. (quadro 6) e que a diferença entre a acurácia entre os dois especificamente é demonstrada na (Figura 20).

Quadro 6 – Características dos formatos matricial e vetorial

	Formato Matricial	Formato Vetorial
precisão	A estrutura de dados matricial é relativamente simples: uma grade com um único código em cada célula	A realização de ampliação não produz danos à qualidade de apresentação
processamento	computadores realizam a comparação de dados de modo rápido	fácil representação computacional, mas de difícil edição necessita processadores robustos
acurácia	Baixa (Normalmente espera-se que perdas sejam compensadas por ganhos)	alta resolução suporta a alta acurácia
informação	genérica	precisa

Fonte: Elaborado pelo autor com base em (DAVIS, 2001)

Figura 20 – Diferença entre a acurácia de Raster x Vetorial

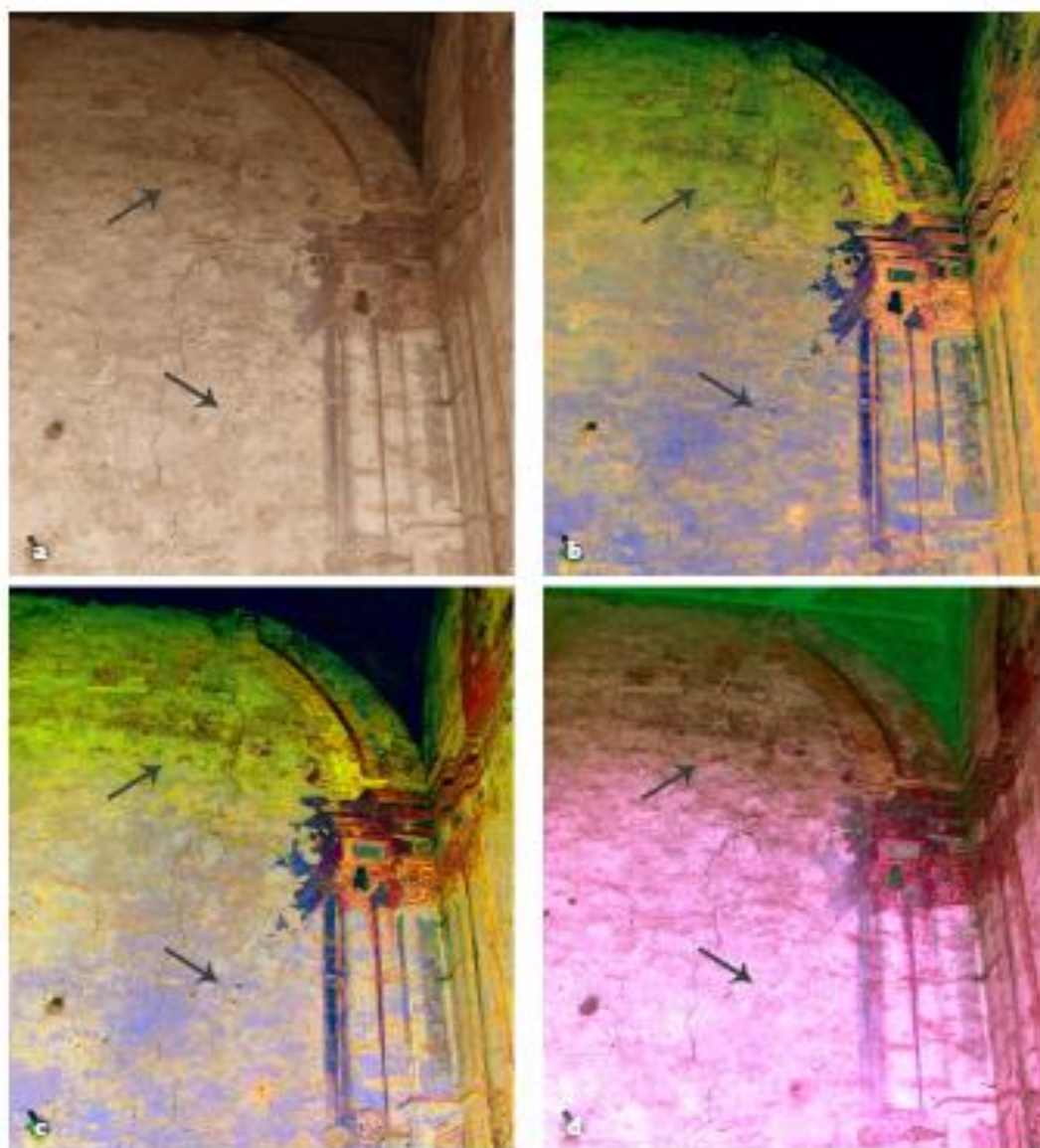


Fonte: adaptado de (DAVIS, 2001)

#### 2.8.4 Softwares de interpretação de imagens para identificação e monitoramento de Patologias Construtivas

##### 2.8.4.1 Programa DStretch

Porto, Martín e Gutierrez (2020) propõem o uso da ferramenta de análise de imagens DStretch aplicada ao estudo e análise formal de algumas pinturas murais do século XVIII na Igreja de San Agustín de San Cristóbal de La Laguna, cidade Patrimônio da Humanidade na Espanha. No artigo, os autores propõem uma metodologia de trabalho para conseguir uma recriação confiável e rigorosa apoiada no software livre *DStretch*, o qual é concebido para a investigação da arte rupestre, baseia-se no tratamento digital de imagens com a aplicação de processos de decoração automática. O resultado revelou-se oferecer uma aplicabilidade interessante no estudo da pintura mural histórica (Figura 21).

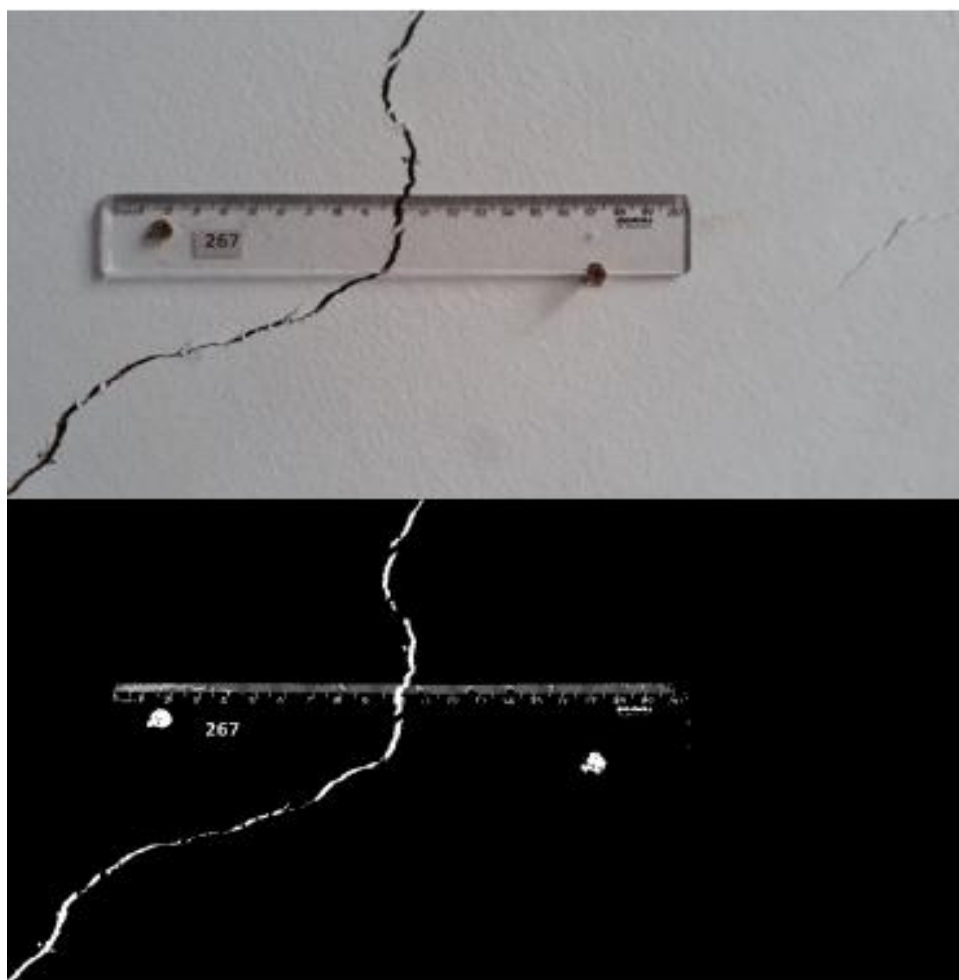
Figura 21– Tratamento digital de imagens no software *DStretch*

FONTE: (PORTO, MARTÍN e GUTIERREZ, 2020)

#### 2.8.4.1 Utilização de Inteligência artificial para interpretação de imagens

Lima (2019) em sua dissertação de mestrado, utilizou de estudos da inteligência artificial e treinamento da rede neural YOLO (algoritmo para reconhecimento de objetos), basea-se na contagem de pixel por centímetro e no processamento de imagens binária, onde o procedimento demonstra-se preciso, porém necessita de uma régua, uma vez que o algoritmo proposto faz a medição apenas pelo reconhecimento da escala numérica somente na horizontal e não pelo reconhecimento dos pixels da imagem (Figura 22).

Figura 22 – Tratamento digital de imagens rede neural YOLO



Fonte: (LIMA, 2019)

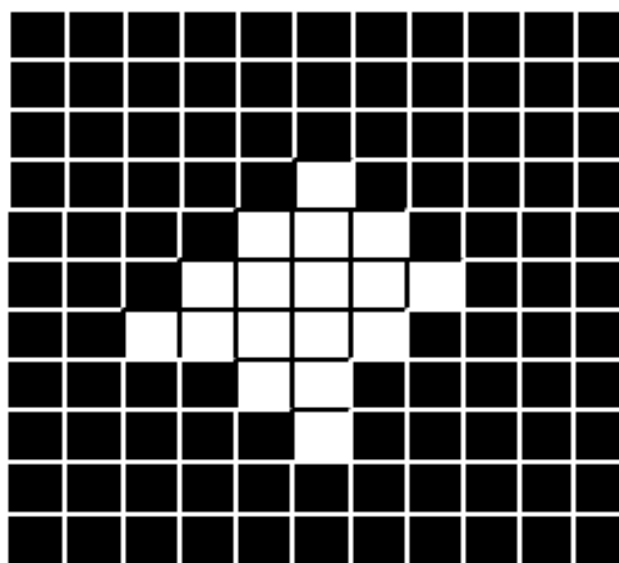
#### 2.8.4.1 Uso da Lógica Fuzzy no processamento de imagens digitais

Conforme (VISUAL-LAB, 2021), a Morfologia Matemática é uma ferramenta de processamento e análise de imagens, baseada principalmente na teoria de conjuntos. Segundo Amaral e Andrade (2017) a Morfologia Matemática é um método utilizado para obtenção de características geométricas em imagens binárias com a utilização de operadores morfológicos para gerar uma nova imagem com base na imagem original e uma imagem auxiliar, denominada elemento estruturante. A morfologia matemática Fuzzy é uma extensão da morfologia binária, utilizando a lógica Fuzzy, e permite a utilização dos operadores em imagens coloridas e em escala de cinza.

A Morfologia Matemática apresenta um modelo sistemático para extrair características geométricas de imagens binárias usando operadores morfológicos que transformam a imagem original em outra, por meio de uma terceira imagem, chamada elemento estruturante que teve origem em 1960 pelos pesquisadores Jean Serra e George Matheron. A morfologia matemática fuzzy estende os operadores morfológicos para imagens em tons de cinza e coloridas e foi inicialmente proposta por Goethier utilizando a lógica fuzzy. (ANDRADE, 2014)

O VISUAL-LAB (2021) diz que uma imagem digital “é representada como subconjunto do plano cartesiano  $Z^2$ , onde  $Z$  denota o conjunto dos números inteiros”, sendo que “cada amostra da imagem, também conhecida como pixel, está localizada em uma posição  $(i,j)$ ”. Sendo assim, pode se dizer que uma imagem binária é composta por dois tipos de pixels (preto e branco), os do plano de fundo e o plano principal, que são representados normalmente usando preto e branco, ou 0 e 1, respectivamente, a (Figura 23) representa uma imagem binária de 11x11 pixels, onde o fundo é representado por pixels em cor branco e o objeto pelos pixels na cor preta.

Figura 23 – Representação de uma imagem binária

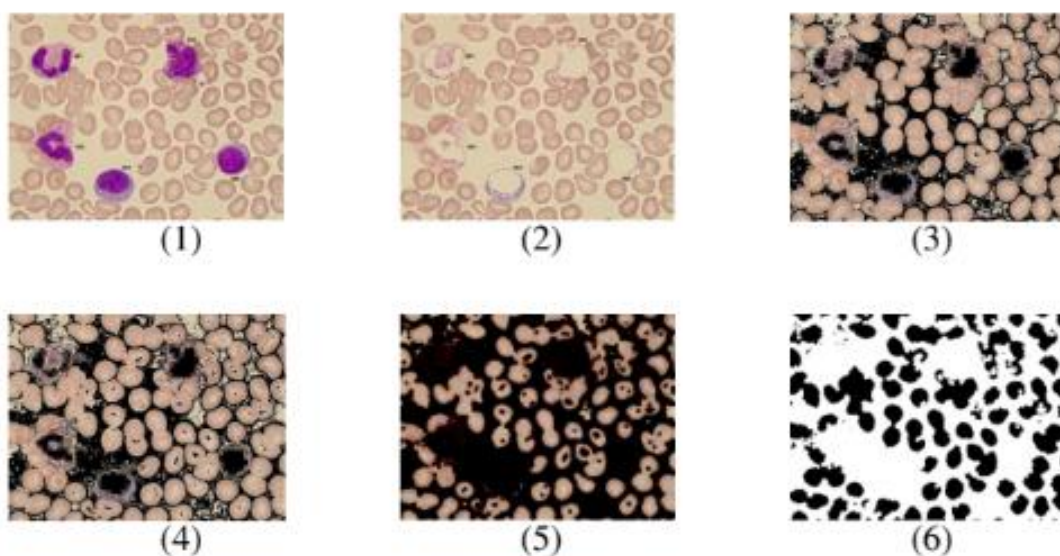


Fonte: (VISUAL-LAB, 2021)

Andrade (2014) diz que o processo de contagem de objetos ou elementos em imagens tem aplicações nas mais variadas áreas: células, bactérias, árvores, frutas, amostra de solo, fungos, pólen, espigas entre outros. Ainda segundo Andrade (2014) na área médica em 2011 Kimori apresentou um novo método de processamento de imagem para melhorar as características morfológicas de massas e outras anormalidades em imagens médicas utilizando técnicas de contraste, com isso os

médicos conseguem diagnosticar algumas doenças relacionadas com as células de linhagem vermelha. O método consiste em analisar todos os pixels da imagem e substituindo o valor RGB pixel, conforme as etapas do processamento de contagem das células sanguíneas (figura 24).

Figura 24 – (1) Imagem Original, (2) Remove Células Brancas, (3) Imagem com fundo preto, (4) Imagem com preenchimento do interior das células, (5) Imagem com Erosão, (6) Imagem binária com máscara



Fonte: (ANDRADE, 2014)

Martins et al (2013) propuseram um Método baseado na análise de imagem e a interpretação da morfologia matemática, para monitoramento de abertura de fissura em alvenaria e concreto usando plataforma móvel. Em dados comparativos da utilização de paquímetro e a interpretação de imagens digitais, observaram que:

conforme as novas fissuras surgem na fase inicial, o erro torna-se maior. Nestes casos, o erro do método convencional aumentou de 4,2% para 4,9% entre a 9ª e a 22ª medidas. Por outro lado, o erro exibido pelo método proposto aumentou ligeiramente ao final das medidas, devido à maior quantidade de pixels que a fissura ocupou. No entanto, essa imprecisão manteve-se abaixo de 1% durante todas as medidas. (MARTINS et al, 2013)

Ainda segundo o mesmo estudo, puderam concluir:

O método de monitoramento proposto neste trabalho identifica o índice percentual da região da fissura em alvenaria ou concreto, por meio de um algoritmo de processamento de imagens em plataforma móvel, ... produziu os seguintes resultados:

Menor subjetividade na identificação de alterações na região da fissura, sem depender da experiência do técnico em procedimentos de leitura e interpretação dos instrumentos de metrologia;

Resultados mais precisos e confiáveis, independentemente do índice de trincas encontradas e das dimensões de abertura de trincas observadas;

O índice percentual da área de trincas é obtido diretamente na tela do celular na medida em que as imagens são capturadas e processadas, diferentemente do método convencional que exige medições exaustivas e cálculos off-line para atingir os resultados;

O menor tempo de medição, constante e independente do comprimento, forma e índice de fissura encontrada, representou outros resultados atrativos;

Com o método proposto é possível compartilhar os dados obtidos no monitoramento das fissuras por meio da comunicação móvel (MARTINS et al, 2013).

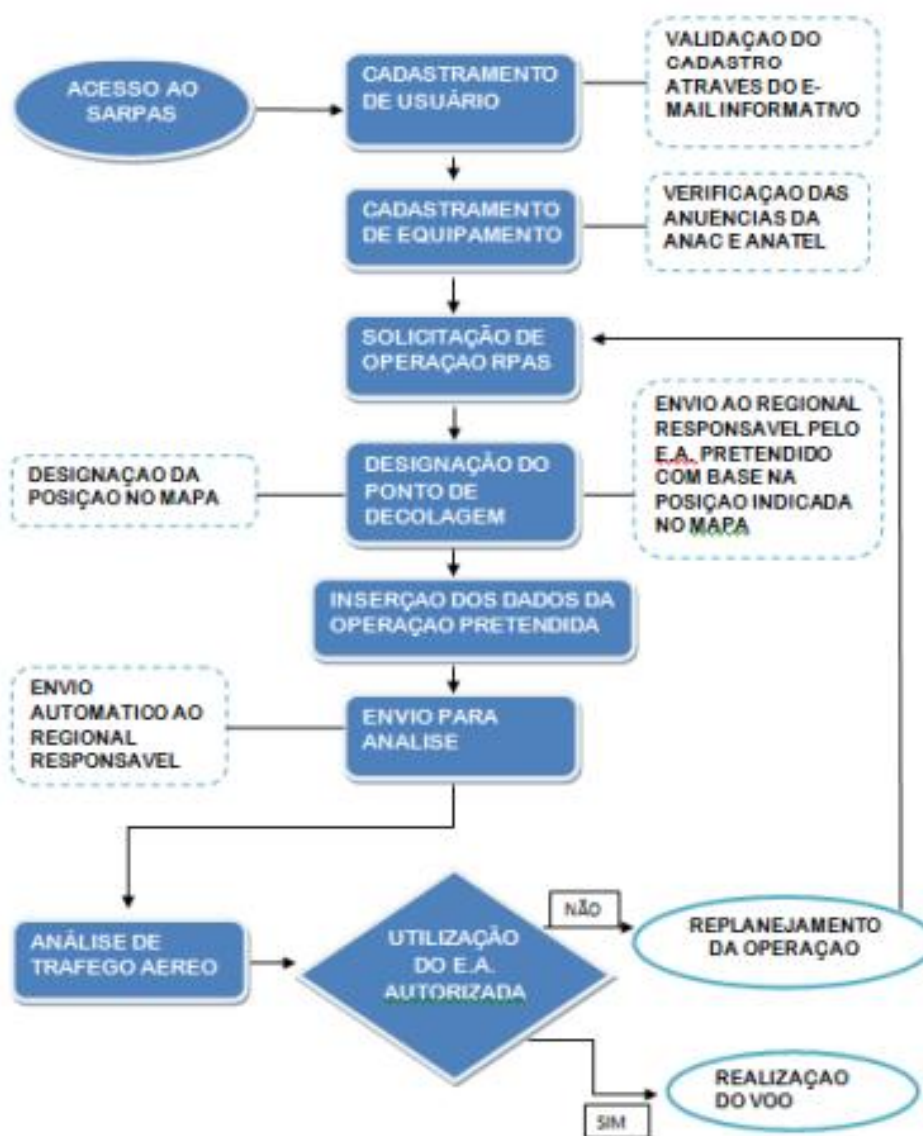
Sendo assim, a aplicação de técnicas de processamento digital analisados com a utilização da morfologia matemática (pixels) em imagens previamente convertidas para matriz binária, demonstrou-se como uma “resposta rápida científica capaz de auxiliar os técnicos em visitas periódicas no monitoramento da abertura de fissuras em alvenaria e concreto.

Com base no método utilizado por Martins et al (2013), esta pesquisa busca experimentar a utilização da lógica *fuzzy* como técnica de monitoramento de patologias construtivas e comparar com a técnica de análise de desenhos vetoriais sobre anomalias, principalmente em imagens obtidas com a utilização de RPAs.

## **2.9 Estado da arte da pesquisa no Brasil**

No Brasil, o uso de RPAs possui regras e normas específicas (Figura 25). Atualmente, as RPAs vem sendo muito utilizadas na construção civil para a documentação e medição de obras, e na promoção de vendas de imóveis (TÉCHNE, 2014). Órgãos públicos, como CREA (Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura), também tem feito o uso de drone para vistoriar obras de infraestrutura.

Figura 25 – Procedimento básico para utilização de RPA no Brasil



Fonte: (IBAPE-MG, 2019)

Atualmente, as RPAs estão sendo utilizadas para inspecionar desde redes elétricas, subestações até áreas urbanas. Além de detectar à distância manifestações patológicas das construções, principalmente em lugares de difícil acesso “como telhado, bem como a necessidade de manutenção em fiação de alta tensão, verificação de queda de energia e possíveis interrupções” (OLIVEIRA, *et al.*, 2016 apud MARIANA, 2020, p.28)

O uso de RPAs para a realização deste tipo de inspeção se mostra promissor, já que elimina a necessidade de equipamentos de elevação e operadores

especializados, além de garantir o aumento da segurança durante o processo de inspeção e realizar a atividade de maneira mais eficiente e econômica (MORGENTHAL e HALLERMANN, 2014).

Alguns produtos que auxiliam no trabalho técnico do construtor, após os processamentos das imagens obtidas em voo são: nuvem de pontos, planialtimetria, cálculos de áreas e volumes.

Segundo Feital (2017), “a qualidade das imagens que são em alta resolução pode fornecer dados como monitoramento de fissuras, coleta de imagens para a entrega da obra, relatório fotográfico, auditoria, vistoria cautelar, fiscalização da obra, etc”. (FEITAL, 2017).

A seguir são apresentados alguns trabalhos contemporâneos que utilizam tecnologias digitais para a documentação científica, os quais são referências nacionais quanto à aplicação da fotogrametria, assim como a HBIM.

### 2.9.1 Escaneamento a laser/Modelagem BIM - Casa de vidro – São Paulo/SP

O levantamento realizado na Casa de Vidro, projetado pela arquiteta Lina Bo Bardi, onde o foram utilizadas várias técnicas de documentação digital, inclusive o laser scanning embarcado em RPA, resultando em um processo de documentação preciso, com ênfase no estado de conservação do imóvel e inserção de dados no sistema BIM

O processo de documentação foi composto por várias equipes, as quais foram responsáveis por levantar informações que compuseram a modelagem BIM. Para tanto, foram utilizados: fragmentos do projeto arquitetônico original, projeto original e de reforma, simulação estrutural, nuvem de pontos (a partir de laser scanning), levantamentos atuais da edificação, mapa de danos, documentos históricos (artigos em revistas e fotografias) e levantamento topográfico. (CUPERSCHIMID, *et al.*, 2018, p. 189)

Segundo os autores do levantamento e da modelagem da Casa de vidro (Figura 26), várias equipes participaram da coleta de dados para elaboração da modelagem BIM, possibilitando demonstrar a utilização de diversos sistemas para ações de documentação e gestão do patrimônio.

Figura 26 – Modelo BIM sobrepondo a imagem da nuvem de pontos (em preto: estrutura em arame do modelo BIM - demais cores: representações advindas da nuvem de pontos)



Fonte: (CUPERSCHIMID, *et al.*, 2018, p. 192)

### 2.9.2 Fotogrametria e modelagem BIM, Capela de Nossa Senhora da Escada – BA

Foram utilizados para a modelagem BIM da capela, diversos métodos de levantamento, desde o manual até a fotogrametria e o escaneamento a *laser*.

O principal método adotado foi a varredura a laser, uma vez que a "nuvem de pontos" capturada pelo 3D laser scanner serviu como base geral para toda a modelagem BIM realizada. Segundo a autora, "os resultados confirmam o grande potencial dessa tecnologia para documentação de edificações existentes" (Figura 27).

Figura 27 – Sobreposição da "nuvem de pontos" com o desenho por medição direta



Fonte: (GROETELAARS, 2015, p. 270)

### 2.9.3 Modelo BIM– da Igreja de Bom Jesus de Matozinhos - Congonhas/MG

Tolentino (2018) em sua tese de Doutorado, discutiu o uso do conceito HBIM na documentação, na gestão e na preservação do patrimônio arquitetônico. Neste trabalho a autora descreveu detalhadamente todo o processo de levantamento da igreja de Bom Jesus de Matozinhos (Figura 28) que foi realizado por varredura à laser e processado em diversos programas, sobre o processo conclui que:

as "nuvens de pontos" geradas durante o processo de levantamento por varredura laser, não devem ser usadas apenas como base para a modelagem geral, mas como um produto final. Uma vez que cada ponto da nuvem contém atributos geométricos/geográficos e de cor, e que todo processo de modelagem carrega em si alguma simplificação, acredita-se que estas nuvens constituem uma melhor fonte de informações que o modelo criado a partir dela. (TOLENTINO, 2018, p. 208)

Figura 28 – Vista da nuvem de pontos do exterior da Igreja do Bom Jesus

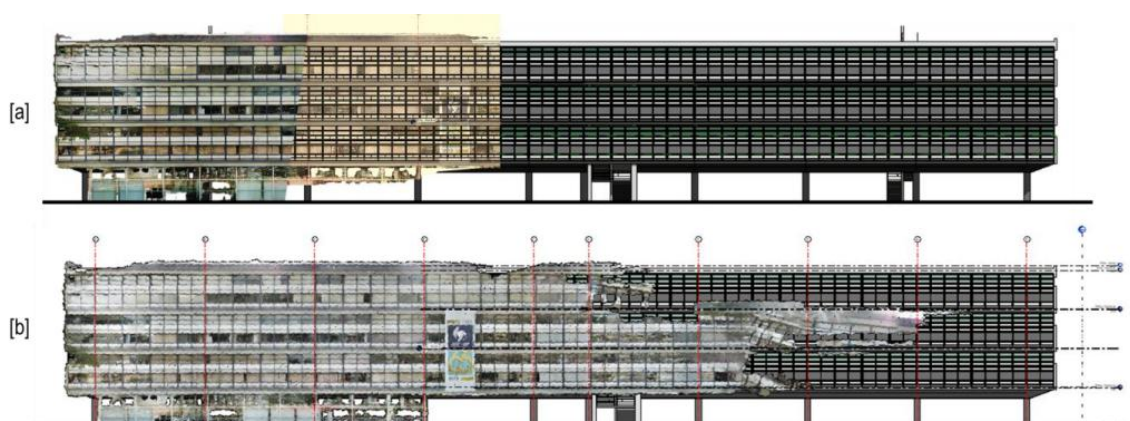


(TOLENTINO, 2018, p. 141)

#### 2.9.4 Levantamento aéreo, fotogrametria digital e modelagem BIM – Campus 1 USP – São Carlos/SP

Fabício *et al* (2021) - utilizaram RPAS/drones e BIM para realizar o levantamento/documentação do Campus E1 da Universidade de São Carlos/SP. A metodologia envolveu o processamento de imagens aéreas, gerando ortomosaicos fotográficos e sobrepondo na modelagem BIM. O trabalho concluiu que há necessidade da incorporação da nuvem de pontos, diretamente no modelo BIM servindo de apoio à modelagem e adquirindo fidelidade no registro documental do patrimônio (Figura 29).

Figura 29 – Sobreposição de ortofotos no modelo BIM



Fonte: (FABRÍCIO, et al., 2021, p. 6)

### 2.9.5 Escanemento a laser/Modelagem BIM – Igreja da Pampulha – Belo Horizonte/MG

Cogima *et al* (2020) utilizaram dois sensores na varredura digital para a criação do modelo BIM da Igreja de São Francisco de Assis: um *scanner a laser* terrestre TLS (*Terrestrial laser scanners*) e um RPA comercial de baixo custo, no conjunto arquitetônico da Pampulha, em Belo Horizonte. O método de geração do HBIM para a Igreja São Francisco de Assis foi composto de três etapas demonstrado na (Figura 30).

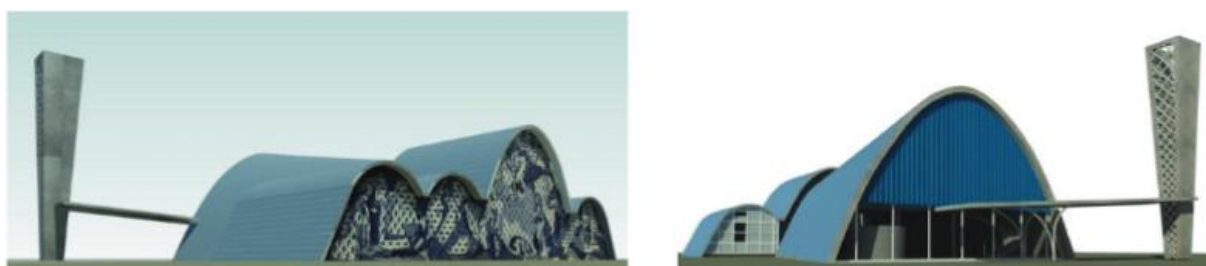
Figura 30 – Fluxo de trabalho para elaboração do Modelo HBIM



Fonte: (Cogima, et al., 2020)

Segundo os autores a utilização do RPA foi muito útil pois conseguiu capturar imagens fora do alcance de varredura do TLS, como o topo das coberturas e as áreas de intersecção das abóbadas. Os autores descrevem que a avaliação das nuvens de pontos (sobreposição e distância entre pontos) geradas pelos dois sensores, demonstrou que o levantamento realizado pelo RPA obteve grande acurácia da nuvem de pontos e além de cobrir áreas não acessíveis pelo scanner terrestre. Com isso, os autores ainda concluem que a nuvem de pontos obtidas pós processamento de imagens capturadas por RPAs geram dados com alto grau de confiabilidade, devido ao estado da arte dos softwares de restituição fotogramétrica. O resultado do modelo HBIM, após levantamento (terrestre e aéreo) e processamento dos dados pode ser observado na (Figura 31)

Figura 31 –Modelo HBIM da Igrejinha da Pampulha



Fonte: (Cogima, *et al.*, 2020)

### **3 CAPÍTULO: ESTUDO DE CASO - IGREJA DE SÃO FRANCISCO DE ASSIS (IGREJINHA DA PAMPULHA)**

#### **3.1 Conjunto moderno da Pampulha**

O Conjunto Moderno da Pampulha, localizado na região Norte de Belo Horizonte/MG, é composto por cinco edifícios situados em torno do espelho d'água do lago urbano artificial conformado por uma barragem construída em 1938, durante a gestão do prefeito Otacílio Negrão de Lima, com o objetivo de garantir o abastecimento de água em Belo Horizonte. Souza (1998, p 187) conta que o antigo Arraial de Santo Antônio da Pampulha era formado por diversas fazendas e por ali

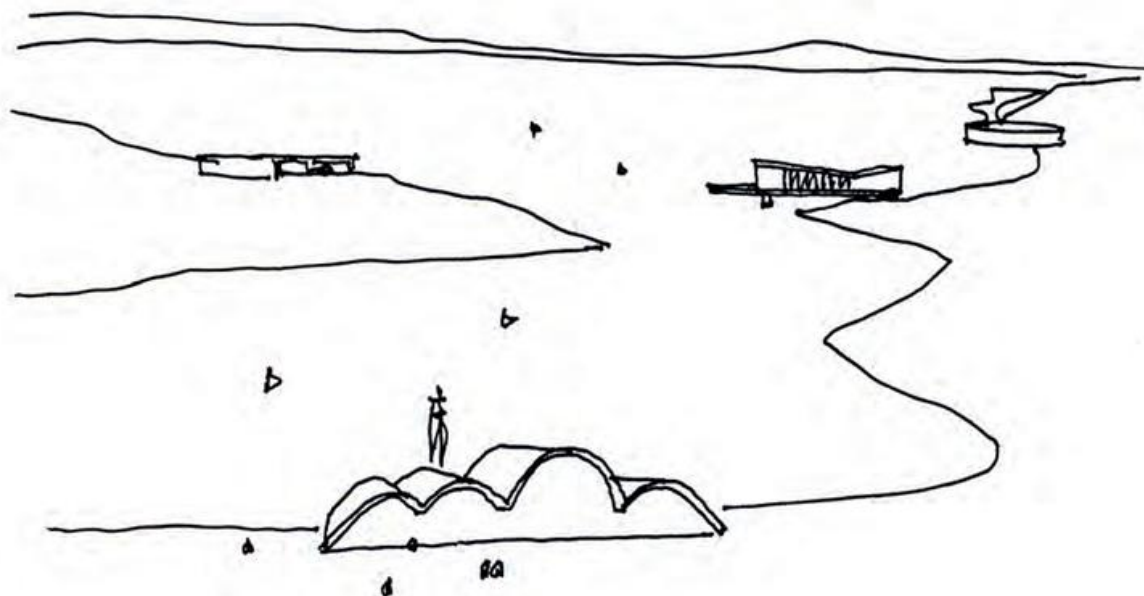
passava o córrego Pampulha. Essa região foi desapropriada para a construção da represa.

A Igreja de São Francisco de Assis (figura 32), mais conhecida como a Igrejinha da Pampulha, faz parte do conjunto projetado pelo arquiteto Oscar Niemeyer na década de 1940, a partir de solicitação do então prefeito de Belo Horizonte, Juscelino Kubitschek. Feres (2017) acredita que a visão JK era destacar o potencial turístico e de lazer do local:

O programa arquitetônico inicial para o Conjunto apresentado por Niemeyer incluía: a Igreja de São Francisco de Assis; o Cassino (atual Museu de Arte da Pampulha); a Casa do Baile (atual Centro de Referência em Urbanismo, Arquitetura e Design de Belo Horizonte); o late Golfe Clube (hoje late Tênis Clube), construídos quase simultaneamente entre 1942 e 1943. Completava o projeto original um hotel, que não chegou a ser construído e a residência de Juscelino Kubitschek (atual Casa Museu Kubitschek) construída em 1943. (FEREZ, 2017, p.10)

O espelho d'água da Lagoa da Pampulha, funciona como um elemento articulador do conjunto de construções modernas (Figura 32) concebidas “de forma a gerar uma **obra de arte total**, integrando as obras de arte aos edifícios e estes à paisagem” (FMCBH, 2014, p.58).

Figura 32 – Croquis de Oscar Niemeyer mostrando o Conjunto



Fonte: (FMCBH 2014, p. 59)

Segundo a Fundação Municipal de Cultura de Belo Horizonte (FMCBH, 2014, p. 60), a ideia de conjunto não se esgota nas suas relações com a paisagem, mas utiliza também o “vocabulário construtivo e formal proposto por Le Corbusier – lajes planas, panos de vidro”. Para Niemeyer, o conjunto da Pampulha revela-se na proposição de uma arquitetura eminentemente brasileira:

E tudo começou quando iniciei os estudos de Pampulha – minha primeira fase – desprezando deliberadamente o ângulo reto tão louvado e a arquitetura racionalista feita de régua e esquadro, para penetrar corajosamente nesse mundo de curvas e formas novas que o concreto armado oferece. E foi no papel, ao desenhar esses projetos, que protestei contra essa arquitetura monótona e repetida, tão fácil de elaborar que se multiplicou rapidamente, dos Estados Unidos ao Japão. E o fiz com a desenvoltura que meu sócia pedia, cobrindo a Igreja de Pampulha de curvas variadas, e a marquise da Casa do Baile a se desenvolver, também em curvas, pela margem da pequena ilha. Era o protesto pretendido que o ambiente em que vivia exaltava com suas praias brancas, suas montanhas monumentais, suas velhas igrejas barrocas, suas belas mulheres bronzeadas. Alguns, ainda presos às limitações funcionalistas da época, tentaram criticar Pampulha, mas se tratava de obra tão correta e criativa que justifica o comentário, já mencionado aqui, do meu colega francês, DeRoche: ‘Pampulha foi o grande entusiasmo da minha geração’. (NIEMEYER, 1998. p.261–262 apud FMCBH 2014, p. 59)

Em julho de 2016, na 40ª. Sessão do Comitê do Patrimônio Mundial, realizada na cidade de Istambul (Turquia), foi votado um parecer favorável pela inscrição do Conjunto Moderno da Pampulha na Lista do Patrimônio Mundial, na categoria paisagem cultural. Feres (2017) destaca que:

O Relatório final do ICOMOS aponta em suas considerações que o Plano de Gestão do Conjunto Moderno da Pampulha deve adotar a abordagem da Paisagem Histórica Urbana (em inglês: Historic Urban Landscape- HUL) e incorporar as estratégias e ferramentas de gestão presentes nesta Recomendação da Unesco. (FERES, 2017, p. 12)

A UNESCO reconheceu como Patrimônio da Humanidade o Conjunto Moderno da Pampulha, composto pelo Cassino (atual Museu de Arte da Pampulha), a Casa do Baile (atual Centro de Referência em Urbanismo, Arquitetura e Design), o clube de Golfe (atual Clube de Tênis), a Igreja de São Francisco de Assis (Figura 33), a Praça Dalva Simão, o espelho d’água e a orla da Lagoa, no trecho que articula e lhes confere unidade, pela forte presença do desenho paisagístico de Roberto Burle Marx (FERES, 2017, p. 12).

Figura 33 – Vista aérea da Igrejinha da Pampulha



Fonte: Aerolevantamento por RPA realizado pelo autor em 03/03/2021.

### 3.2 Igreja São Francisco de Assis

A Igreja de São Francisco de Assis, construída em 1940, possui uma solução arquitetônica inventiva e original, incorporando, em sua composição arquitetônica, a relação com as artes plásticas, o paisagismo e um diálogo entre o movimento moderno e o barroco mineiro (FMCBH 2014, p. 66).

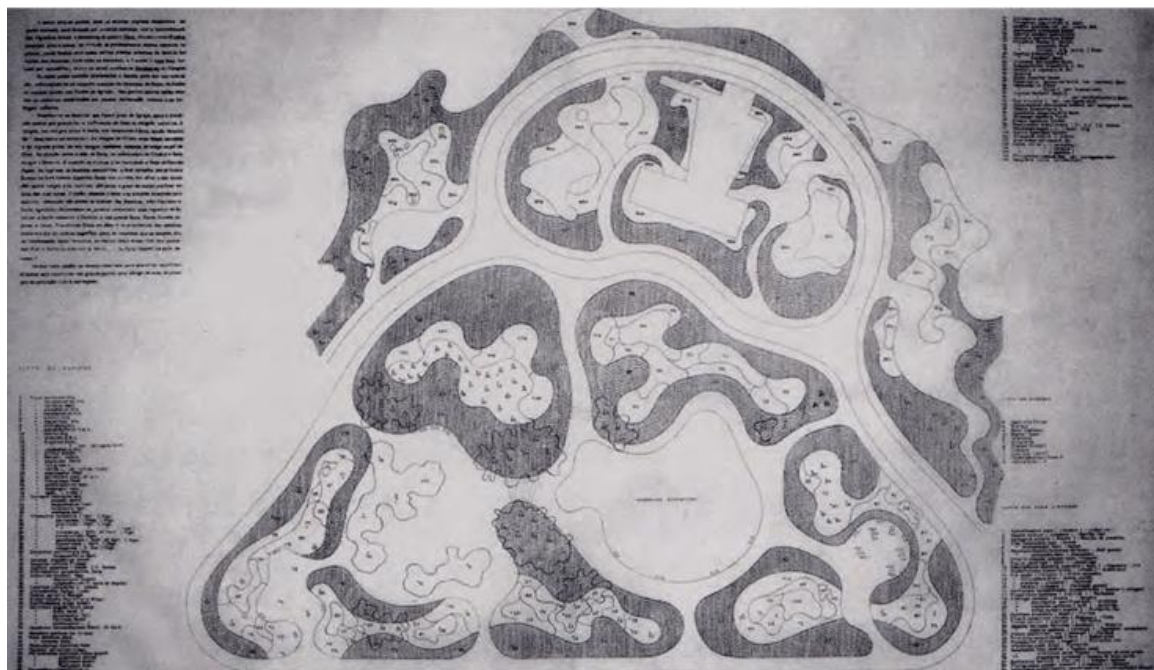
O entorno da Igreja celebra a rosa como tema (onze espécies distribuídas em canteiros amebóides) que fazem referências aos santos do catolicismo e a símbolos medievais (conforme memória descritiva).

(...) O edifício se implanta em península larga, em meio a um grande jardim projetado por Burle Marx, dividido em duas glebas por uma rua tangente à sua fachada, ornada pelo painel de azulejos de Candido Portinari. Essa situação, aliada ao rito canônico de se voltar a porta dos templos ao sol nascente, explica a curiosa orientação da Igreja, voltada para a lagoa e não para a rua. A gleba onde se encontra a Igreja recebe vegetação de menor porte de modo a emoldurar a igreja e propor o lago, enquanto a outra gleba se apresenta como um grande parque, com 107 espécies, entre árvores (ficus, quaresmeiras, mangueiras, dentre outras), arbustos e forrações. (FMCBH 2014, p. 60,105)

Segundo a FCMBH (2014, p. 65), o paisagismo proposto por Burle Marx, baseia-se no tratamento naturalista, recriando plasticamente a natureza e utilizando

espécimes da flora representativas da riqueza vegetal brasileira, criando um diálogo entre o edifício e a vegetação (Figura 34).

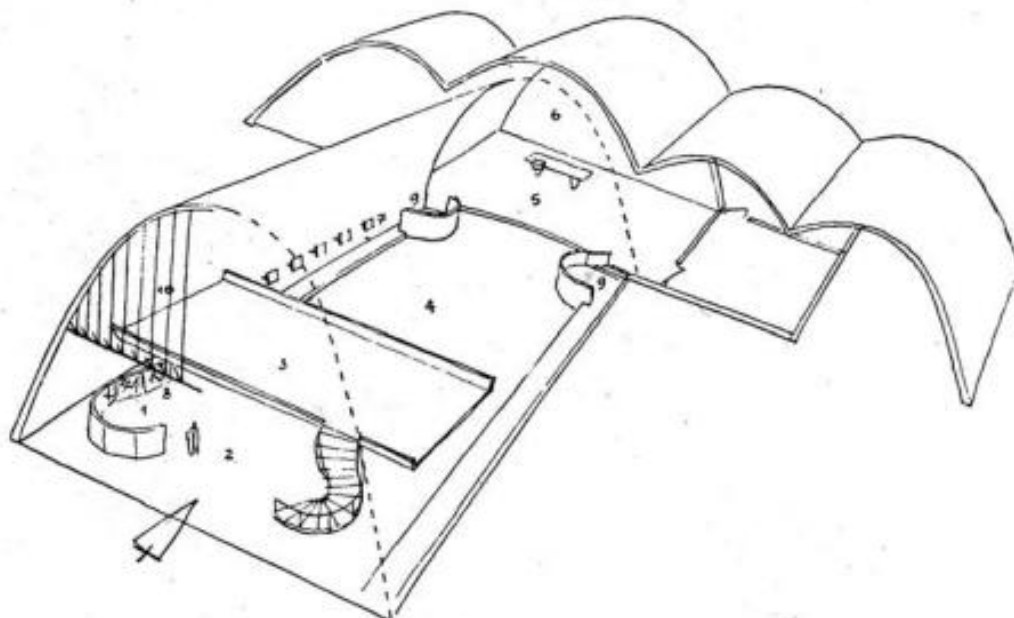
Figura 34 – Projeto original de Burle Marx para os jardins da Igreja da Pampulha



Fonte: (FMCBH 2014, p. 69)

A Igreja é composta de uma sequência de cinco “cascas” parabolóides articuladas, com diferentes alturas, sendo a maior independente em termos estruturais e de seção variável, a qual se encaixa sob a abóbada que abriga o altar-mor. A (Figura 35) mostra um diagrama compositivo do edifício, comumente referido em publicações de arquitetura como um desenho técnico.

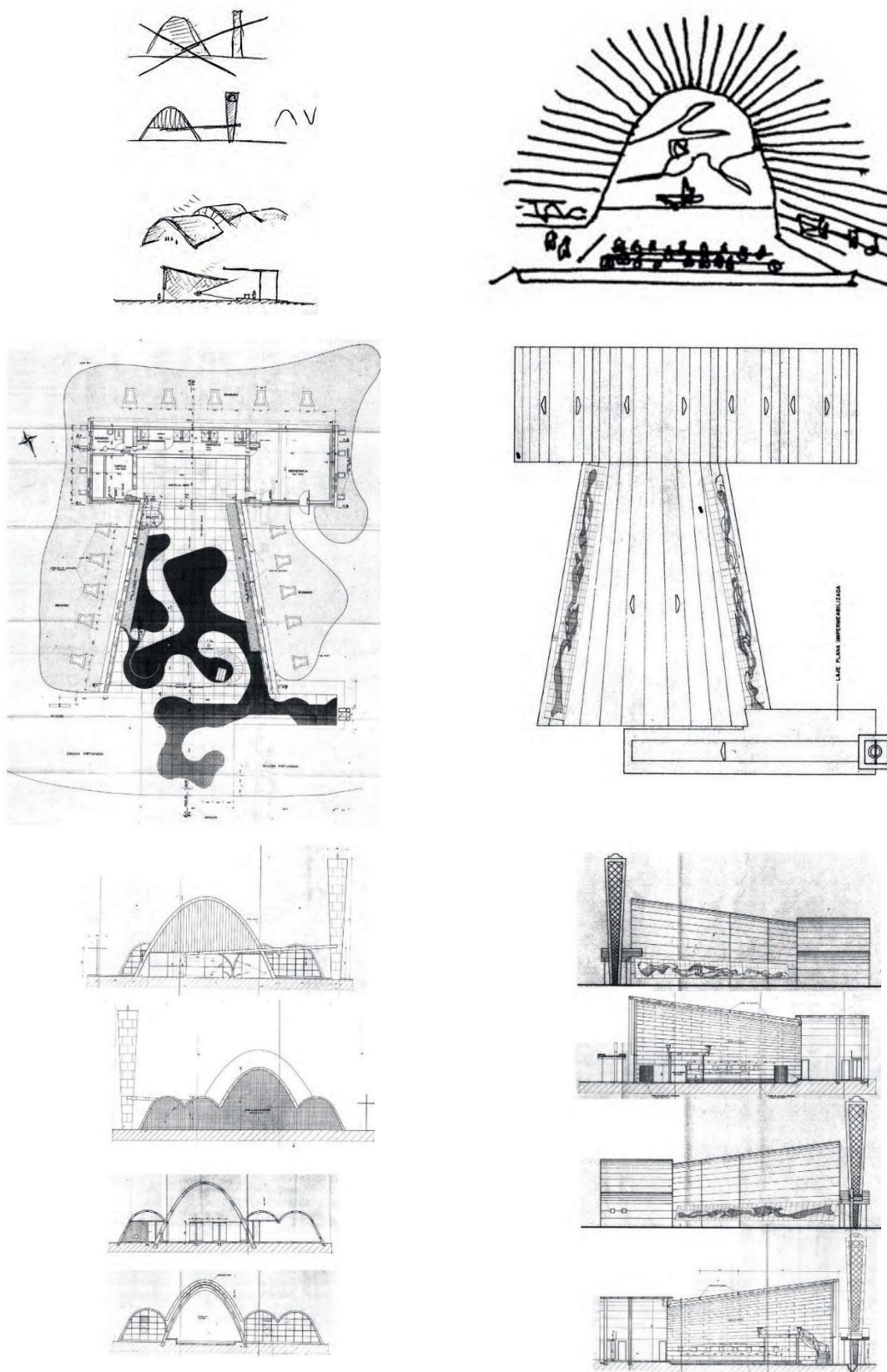
Figura 35 – Diagrama compositivo da Igreja da Pampulha



Fonte: (PADAKI, 1950 P. 94 apud MACEDO e MATOSO p. 202)

Segundo a FMCBH (2014, p. 114) o arquiteto atribuiu a inspiração dos traços às curvas presentes nas igrejas coloniais brasileiras, expressando em sua composição formas ousadas para uma igreja naquela época, respeitando as organizações espaciais tradicionais. O processo de criação e o resultado pode ser verificado na (Figura 36) a qual mostra os desenhos do arquiteto desde seus estudos iniciais ao projeto executado.

Figura 36 – Desenhos de Oscar Niemeyer da Igreja da Pampulha



Utilizando as novas possibilidades ofertadas pela tecnologia da época, Oscar Niemeyer projetou um edifício reconhecido pela vanguarda e ousadia das formas, o engenheiro Joaquim Cardozo propôs uma série de artifícios para o suporte de cargas concentradas, como por exemplo o coro e o apoio da abóbada do altar mor.

Na fachada posterior há um painel em azulejos elaborados por Candido Portinari, que retrata São Francisco, repetidas vezes, cercado por animais, além de algumas outras figuras sacras com um fundo de peixes e pássaros (Figura 37).

Figura 37 – Fachada posterior da Igreja da Pampulha/ detalhe para o painel elaborado por Portinari



Fonte: Foto do autor (02/03/2021).

Segundo o Emiliana, Werneck e Ricci (2021), a arquitetura moderna da Igreja causou grande impacto na época da inauguração, ficando sem a bênção oficial da Igreja Católica durante 14 anos, de 1945 a 1959. Uma das polêmicas relatadas é a pintura mural de Cândido Portinari no altar principal, que retratou o santo padroeiro ao lado de um cachorro, causando reprovação do então arcebispo de Belo Horizonte Dom Antônio dos Santos Cabral e de parte da comunidade católica. Somente em 1958 foi consagrada para o culto católico, sendo a primeira missa celebrada no ano seguinte.

No dia 04/12/2021 a Igreja da Pampulha se tornou oficialmente Santuário Arquidiocesano São Francisco de Assis<sup>18</sup>, valorizando ainda mais o conjunto arquitetônico reconhecido como Patrimônio Mundial.

### 3.2.1 Histórico de patologias, intervenções e estado de conservação atual

Starling (2018) relata o histórico de intervenções realizadas na Igrejinha da Pampulha, entre 1954 e 2018. Com base nesse trabalho, foram organizadas as fichas apresentadas no Anexo A, a serem incorporadas no modelo HBIM gerado nesta pesquisa. Starling (2018) demonstra que patologias recorrentes vêm causando problemas de infiltrações na cúpula da nave, as quais foram investigadas e sanadas parcialmente, ao longo das intervenções de restauração no edifício, conforme aponta o Quadro 7:

Quadro 7 – Quadro resumo das intervenções realizadas na igreja da Pampulha entre 1955 e 2018

Ano	Intervenções Realizadas
1955	duas fendas espontâneas foram abertas e transformadas em juntas
1980	juntas com mastique elástico, registra-se a surpresa de que as calhas usadas na obra
1989-1992	as juntas foram tratadas com mastique asfáltico e a nave impermeabilizada em praticamente toda sua extensão, internamente e externamente
2002	realizar um estudo complexo que tem por objetivo o diagnóstico definitivo dos danos
2004-2005	A terceira junta é aberta então na restauração, prevista no projeto original
2018	tratando de pequenas infiltrações, substituição do forro e limpeza pichação

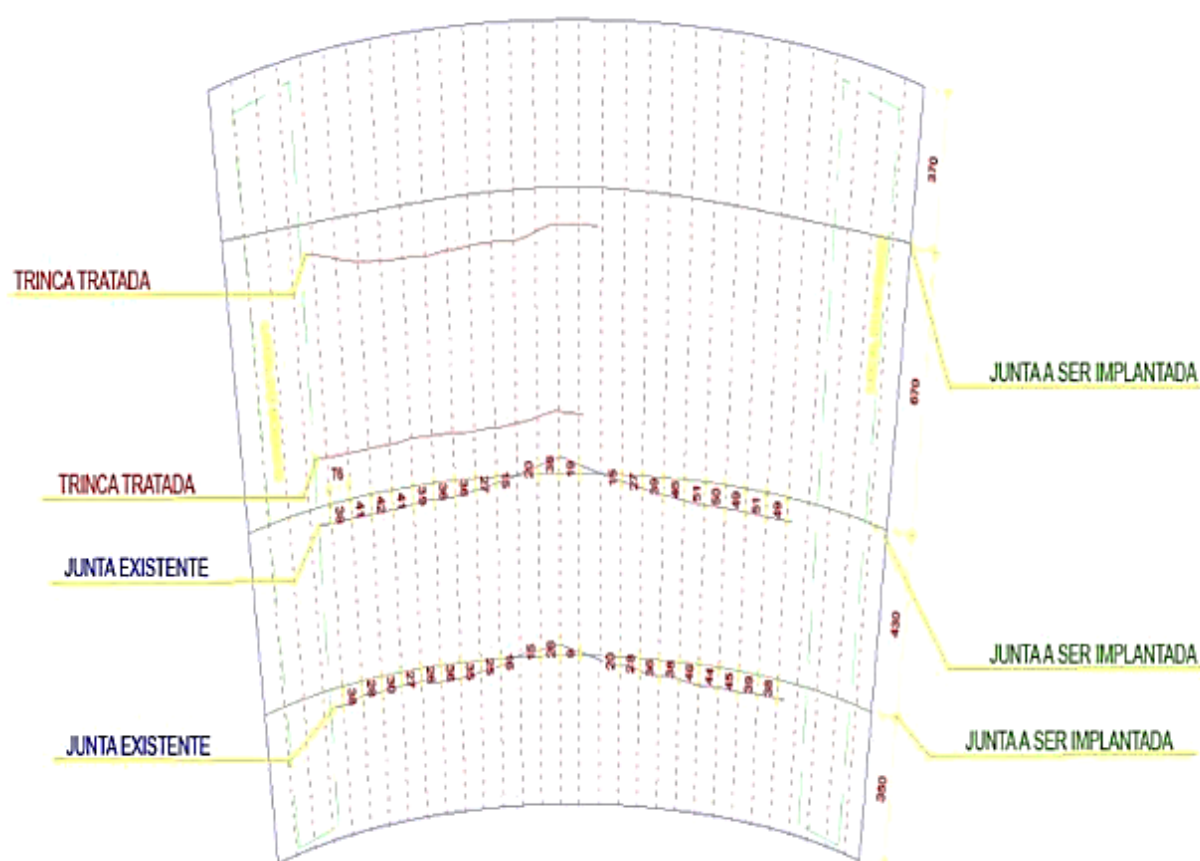
Fonte: Elaborado pelo autor com referência em Starling (2018).

<sup>18</sup> uma igreja ou outro local sagrado se torna santuário quando os fiéis, em grande número, por algum motivo especial de piedade, fazem peregrinações, com aprovação da autoridade da igreja local (bispo ou arcebispo) fonte:

[https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2021/10/04/interna\\_gerais,1311258/igrejinha-da-pampulha-em-bh-e-elevada-a-santuاريو.shtml](https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2021/10/04/interna_gerais,1311258/igrejinha-da-pampulha-em-bh-e-elevada-a-santuاريو.shtml)

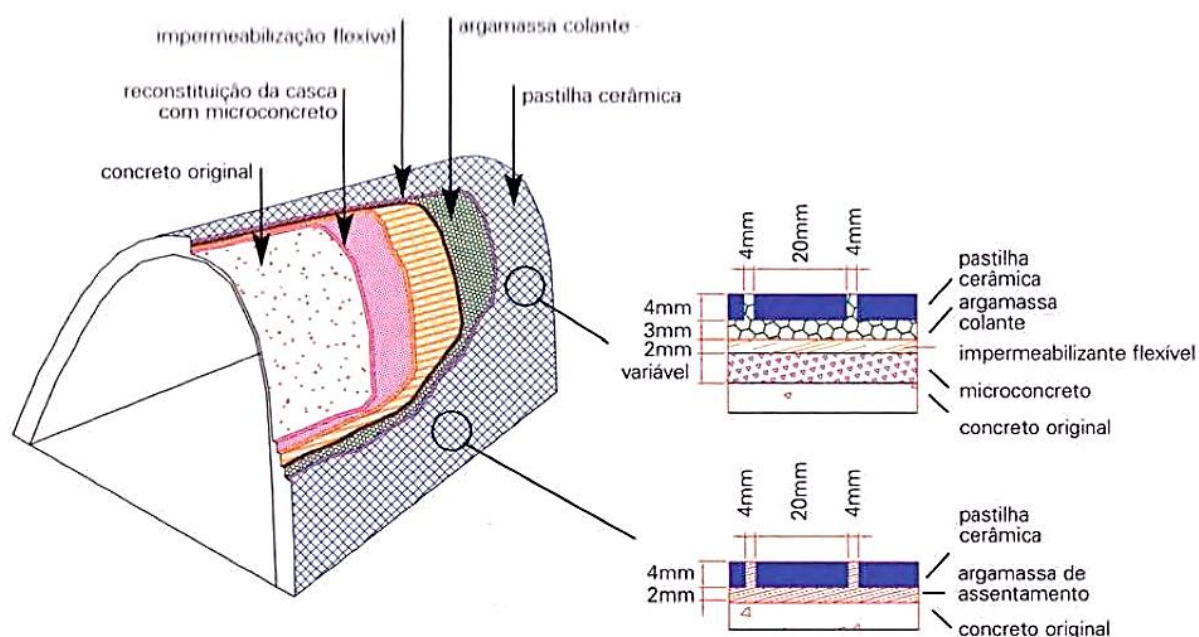
As investigações das fissuras na laje da nave e dos seus impactos na impermeabilização englobaram várias pesquisas e procedimentos ao longo dos anos, incluindo estudos de problemas na fundação e monitoramento estrutural, com utilização de técnicas de medição específicas, como por exemplo o Monitoramento por Extensometria Eletrônica (STARLING, 2018, p. 48). As soluções técnicas e tratamentos das patologias construtivas, envolveram diversas opções, dentre as quais pode-se citar adição e retirada de juntas de dilatação na cúpula. Na penúltima intervenção, realizada entre os anos de 2004 e 2005, foi adicionada uma terceira junta de dilatação, prevista no projeto original (Figura 38) e foram aplicados novos revestimentos sobre o concreto original da nave (Figura 39).

Figura 38 – Patologias construtivas na cúpula da nave principal, apontadas no diagnóstico do projeto de restauração de 2004



Fonte: (STARLING, 2018)

Figura 39 – Corte esquemático da cobertura no restauro de 2004



Fonte: (FMCBH, 2014)

### 3.2.1.1 A intervenção de 2018

Segundo Starling (2018), a última obra de restauração realizada na Igreja São Francisco de Assis estava prevista para o primeiro semestre de 2016, porém só teve seu início em novembro de 2017. Durante esse período, entre 23/12/2016 e 02/10/2017, a igreja passou por monitoramento das patologias, os laudos técnicos de monitoramento relataram crescimento de fungos no forro, indicando presença de umidade e temperatura inadequadas à conservação dos bens culturais no interior da igreja, aliadas a pouca circulação de ar, contribuindo para o processo de deterioração (Starling, 2018, p 76). Além dessas patologias, a Igreja ainda sofreu, em 2017, ações de vandalismo, como a pichação da lateral esquerda (Figura 40).

Figura 40 – Pichação na lateral esquerda da nave.



Fonte: Memorial da Arquidiocese de Belo Horizonte (STARLING, 2018, p.80).

A intervenção em 2018 não foi tão invasiva como a anterior, tratando pequenas infiltrações, substituição do forro, trabalhos gerais de manutenção e a pintura da capela. Starling (2018, p. 84) nos conta que “a análise geral dos materiais e métodos utilizados aponta como a maior limitação do estudo a falta da Memória da Intervenção”. Um modelo HBIM que contenha dados do histórico (Figura X) das intervenções seria muito útil para o monitoramento e planejamento de intervenções futuras, constituindo um dos objetivos específicos desta pesquisa.

Starling (2018) conclui que:

No caso da igreja da Pampulha a dilatação estrutural ocorre desigualmente na abóboda principal, devido a sua forma peculiar, com altura e largura variáveis. Além do desenvolvimento desigual da cobertura há uma concentração de tensões radiais onde eram previstas as juntas de dilatação eliminadas do projeto original, essa situação favorece a abertura espontânea de fendas e, por consequência, ocorrem às infiltrações. (STARLING, 2018, p. 82).

### 3.2.1.2 Estado de conservação atual

No dia 02/03/2021, foi realizada uma inspeção visual e foram detectadas algumas anomalias nas juntas de dilatação, crescimento de vegetação na calha entre as cúpulas (figura 41), sendo esses os problemas que foi possível identificar a olho nu.

Figura 41 – Patologias visíveis a olho nu em 02/03/2021



Fonte: Autor

#### 4 CAPÍTULO: MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos propostos, este estudo empregou uma abordagem metodológica baseada na integração de tecnologias digitais e técnicas de fotogrametria com aeronaves remotamente pilotadas (RPA). O processo foi estruturado em etapas que contemplaram desde a revisão de literatura e inspeção visual preliminar até o planejamento e execução dos voos, processamento das imagens e análise dos modelos gerados. Os procedimentos adotados buscaram garantir rigor científico na documentação e monitoramento da fissura encontrada na cúpula da Igreja de São Francisco de Assis, em Belo Horizonte, MG.

O método envolveu o uso de um RPA Phantom 3 Pro, planos de voo pré-programados e georreferenciados com pontos de controle em solo, além do processamento digital das imagens no aplicativo PIX4D para geração de nuvens de pontos e ortofotos. A análise das fissuras foi conduzida por meio de três abordagens distintas:

Método matricial, utilizando lógica Fuzzy aplicada a imagens Raster;

Método vetorial, com métricas obtidas a partir de formas vetoriais no programa QGIS;

Método pontual, baseado em pontos georreferenciados também no QGIS.

Essa combinação de técnicas permitiu a experimentação de protocolos de documentação, identificação e monitoramento de patologias no patrimônio construído.

##### 4.1 Revisão de literatura e produção científica

O embasamento teórico desta pesquisa foi fundamental para a realização deste trabalho.

A pesquisa teve início pelo entendimento da importância da documentação científica para a preservação do patrimônio cultural, abordando, em cada uma das escalas envolvidas no processo, a metodologia científica adequada para o uso e processamento de imagens como documentos (KIOUSSI et al., 2013; QUINTERO, 2013; LETELLIER, 2007; OLIVEIRA, 2008).

Em um segundo momento, buscou-se a compreensão do estado da arte das tecnologias digitais aplicadas à documentação e a extroversão do patrimônio cultural, explorando as ferramentas atuais e o conceito da metodologia HBIM, sendo as principais referências deste tema estudadas nesta pesquisa os trabalhos dos seguintes autores: Latour (2018), Santaella et al (2013), Feenberg (2004), Lévy (1993) e Latour (1993), que escrevem sobre questões das relações humanas e as tecnologias digitais. Sobre a temática das tecnologias digitais e extroversão do patrimônio, os principais autores estudados foram Raposo (2018), Macleod (2013) e Huyssen (1994). E sobre os conceitos fundamentais de BIM e HBIM, as principais referências foram Fabrício, et al (2021), Mora (2021), Grussenmeyer et al (2020), Rocha, et al (2020), Cupershimid e Silva (2019), Groetelaars (2015), López et al (2018) e Moreno (2016).

Quanto às questões da utilização de RPAs como método de Inspeção Não Intrusiva (INI) aplicada ao monitoramento de patologias construtivas no patrimônio cultural, a pesquisa procurou compreender, como foco principal, as técnicas de fotogrametria realizadas por RPAs e os métodos de processamento de imagens digitais no Brasil e no mundo. Nesse âmbito, destaque os seguintes autores: Fabricio et al (2021), Cogima et al (2020), Germanese et al (2019), Bedin (2019), ABENDI (2019), Cuperschmid et al (2018), Tolentino (2018), Araujo (2017), Santos et al (2016), Brandalize (2001), Morgenthal e Hallerman (2014) e Eschmann et al (2012).

Os conteúdos sobre processamento de imagens com medição vetorial no programa QGIS e técnicas de binarização e reconhecimento de pixels (lógica Fuzzy), pelo método matricial, tiveram o seu embasamento teórico nos seguintes autores: LAPIS (2021), VISUAL-LAB (2021), Porto et al (2020), Lima (2019), Marino (2010), Amaral e Andrade (2017), Andrade (2014), Martins et al (2013) e Davis (2001).

Durante o desenvolvimento da pesquisa, foram apresentados e publicados os seguintes trabalhos em eventos científicos: Hardy e Gonçalves (2019, 2021a, 2021b, 2021c).

Foi também produzido o artigo “Processamento de imagens aéreas em protocolos de monitoramento, diagnóstico e documentação científica para conservação de patrimônio cultural – Estudo de caso na Igreja de São Francisco de Assis (Belo Horizonte/MG)”, enviado para o evento Patrimônio 4.0, previsto para março de 2022, em processo de avaliação.

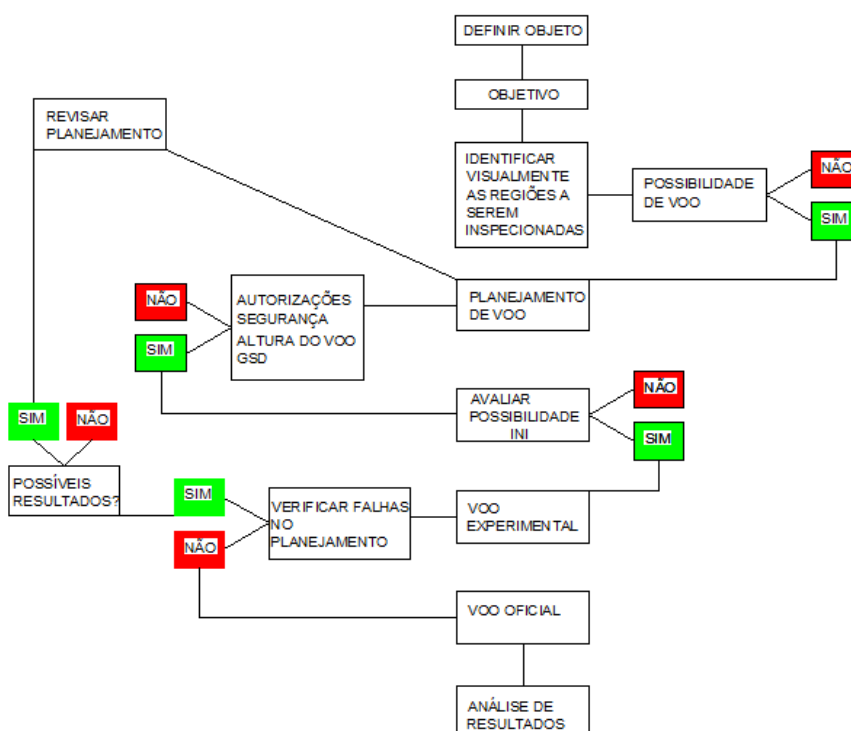
## **4.2 Procedimentos adotados para levantamento in-loco - aerolevamento por meio de RPA**

### **4.2.1 Inspeção visual preliminar e planejamento dos voos patologias, intervenções e estado de conservação atual**

No dia 02/03/2021 foi realizada uma inspeção visual e detectadas algumas anomalias nas juntas de dilatação e crescimento de vegetação na calha entre as cúpulas. A inspeção preliminar é essencial para o planejamento do voo, com a finalidade de evitar retrabalhos e falhas na execução, os planejamentos dos voos realizados nesta pesquisa seguiram as seguintes etapas para a sua execução:

1- após a definição do objeto de estudo e identificação da área a ser monitorada, foi verificada as dificuldades do voo, como pedestres (turistas) e alturas de árvores próximas; 2- Foi constatada a possibilidade segura de um voo com 45 metros de altura do solo, o qual resulta em um GSD de 2cm quadrados por píxel, passando então para a fase de planejamento e autorizações; 3 – Após a elaboração do plano de voo, foi realizada a inspeção aérea em busca de alguma anomalia na construção - 4 - Já em campo, foi realizado um voo manual experimental para verificar a segurança do equipamento e também da operação, assim como velocidade do vento, diafragma da câmera e imagens de teste. Conforme fluxograma demonstrado na (Figura 42).

Figura 42 – Fluxograma de referência para o planejamento dos aerolevantamentos

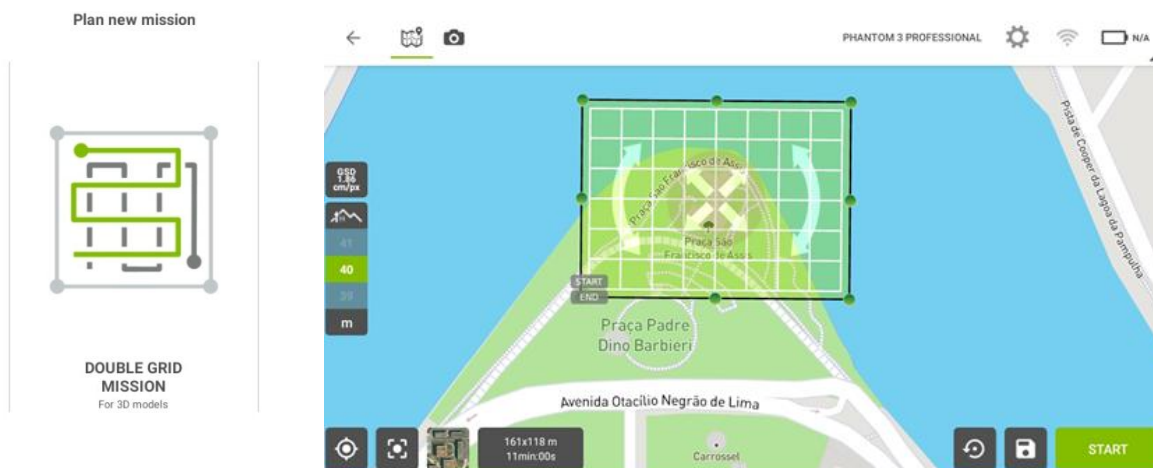


Fonte: autor

Os planejamentos dos voos foram realizados no aplicativo PIX4D, com “duplo grid”, conforme (Figuras 43 e 44), e executados por um RPA Phantom 3 Professional da marca DJI a uma altura de 45 metros do solo. A GSD resultante corresponde a um quadrado de 2cm de lado na superfície levantada, para cada píxel da ortofoto obtida após o processamento das imagens<sup>19</sup>.

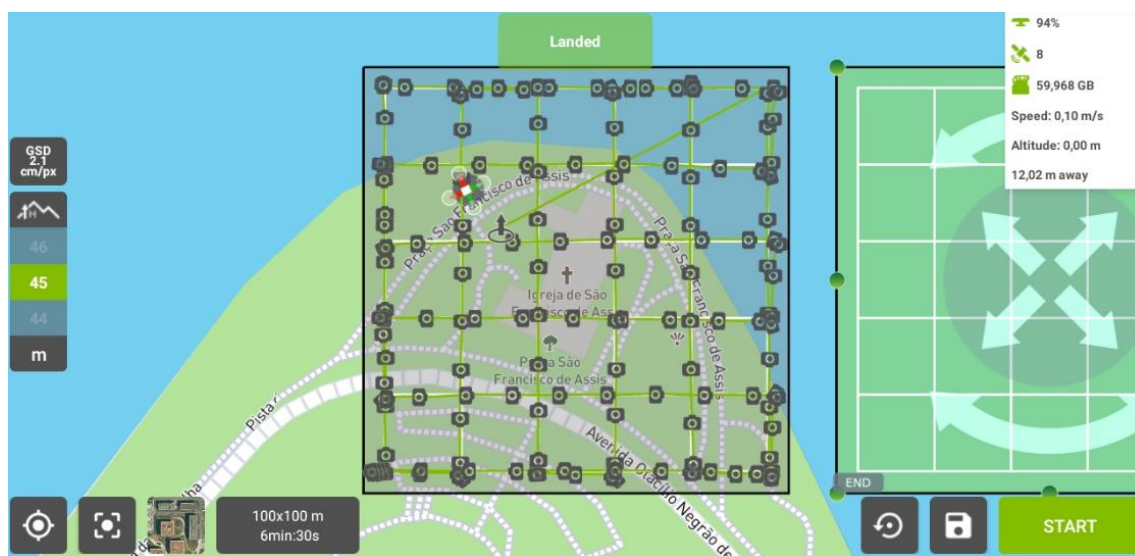
<sup>19</sup> Segundo Grahan e Koh, 2002, p.164) (GRAHAN e KOH, 2002, p. 164), para capturar imagens com uma precisão desejada no levantamento aéreo, é necessário fazer uma relação da distância focal e a lente de captura, utilizando a regra da geometria de semelhança de triângulos o aplicativo PIX 4 D calcula essa relação automaticamente, o que facilita muito na planejamento da operação. Mesmo assim, o conhecimento desta relação matemática é válido no caso de substituição da câmera original do equipamento ou no caso de se embarcar outro modelo de câmera no RPA ver Anexo B

Figura 43 – Planejamento do voo no aplicativo PIX4D



Fonte: autor

Figura 44 – Pontos de captura de imagens mostrados no aplicativo PIX4D



Fonte: autor

A partir desse planejamento, foram realizados três voos<sup>20</sup> sobre a igrejinha da Pampulha: o primeiro no dia 03/03/2021 (Duplo Grid) e os outros dois no dia 28/10/2021. O segundo voo, no dia 28/10/2021, foi feito no mesmo horário e com o mesmo planejamento do primeiro voo do dia 03/03/2021. Já o terceiro voo, feito

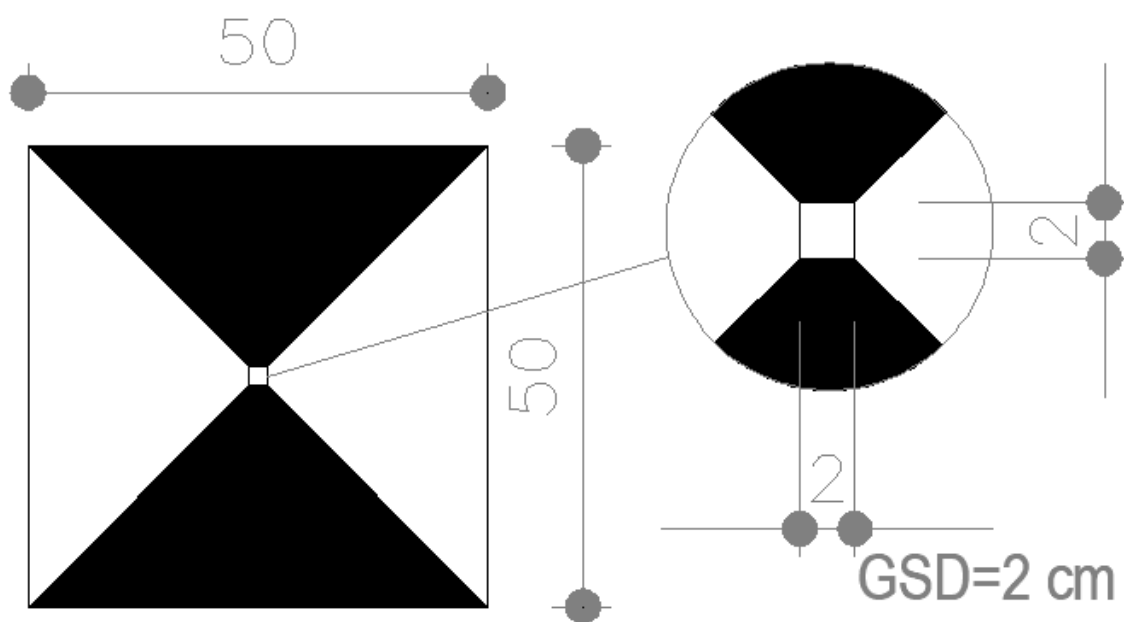
<sup>20</sup> Todos os voos foram realizados, após a autorização da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e da Comissão de filmagens e gravações da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte), realizados com equipamento homologado pela Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) e assegurado pelo seguro de Responsabilidade Civil do Explorador ou Transportador Aéreo (RETA) conforme Legislação brasileira

também em 28/10/2021 e foi realizado em modo manual com alturas variadas envolvendo deslocamentos ortogonais e em torno da Igreja.

#### 4.2.1.1 Configuração dos pontos de controle no solo

Foram distribuídos cinco pontos de controle em solo<sup>21</sup> georreferenciados com GPS manual contando com o auxílio de régua topográfica com 4 metros de comprimento (escala gráfica). A aparência dos pontos de controle pode variar, mas geralmente é um alvo em forma de “X”. Nesta pesquisa optou-se por fazer uma placa em madeira de 50 x 50 cm, com cores contrastantes e com um alvo central de 2 cm quadrados conforme (Figuras 45 e 46).

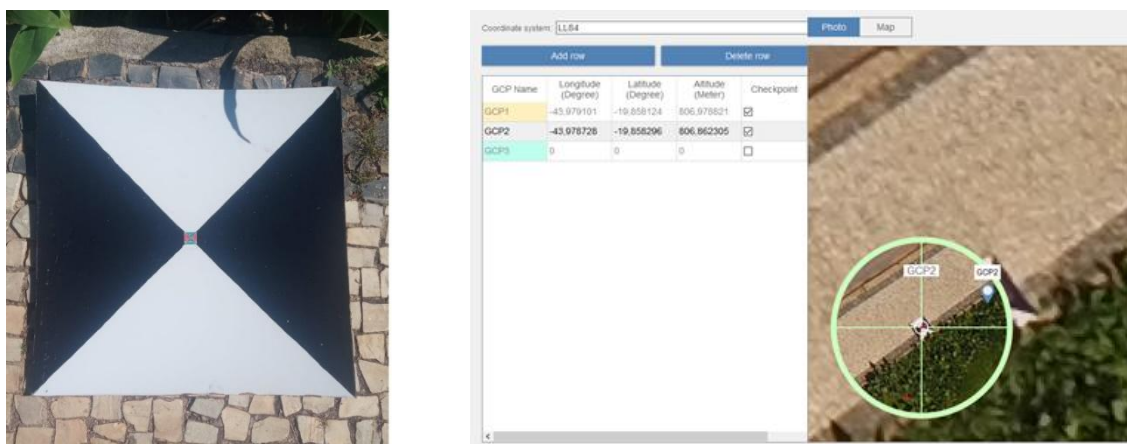
Figura 45 – Pontos de controle (alvo = 2cm)



Fonte: autor

<sup>21</sup> Os pontos de controle são coordenadas conhecidas que auxiliam o software de processamento de imagens a calcular a posição do RPA no momento de captura.




Figura 46 – Pontos de controle coordenadas em solo



Fonte: autor

Após a verificação do equipamento e condições climáticas, foram locados os pontos de controle no entorno da igreja e georreferenciados com o GPS. Próximo ao ponto de decolagem, foram distribuídos dois pontos de controle, formando um triângulo, cujas coordenadas foram registradas com o GPS manual e também com o GPS da RPA. No momento da decolagem foi capturada uma fotografia contendo as coordenadas iniciais do voo. Esse procedimento colaborou muito para a calibração dos pontos de controle em solo e das imagens obtidas pelo RPA. A régua topográfica foi utilizada como escala gráfica, para conferência das medidas, após o processamento das imagens, conforme demonstrado no Quadro 8, que enumera e ilustra os procedimentos adotados em campo antes da realização dos voos:

Quadro 8 – Procedimentos em solo de preparação para os voos

	<p>1- Locação dos pontos de controle com a utilização de escala gráfica (régua topográfica 4 metros)</p>
	<p>Georreferenciamento dos pontos de controle - nota-se que com a escala gráfica é possível verificar e calibrar a divergência no georreferenciamento – devido a precisão GPS utilizado no procedimento</p>
	<p>Calibração dos 3 pontos de referência Ponto de controle P1 Ponto de controle P2 Ponto de controle P3 (local de início da operação – a calibração é feita com o gps do drone e com o gps de campo e anotadas as divergências, para lançamento no agisoft metashape (nota-se que foram usados outros dois pontos de controle nas outras extremidades do local de levantamento)</p>

Fonte: autor

### 4.3 Processamento das imagens - geração de nuvens de pontos e ortofotos

As imagens dos voos foram processadas no programa *Agisoft metashape*, desenvolvido pelo fabricante russo Agisoft LLC, para processamento de imagens e construção de modelos fotogramétricos. O fluxo de trabalho para processar as imagens no programa é bastante intuitivo e seguiu as seguintes etapas conforme demonstrado no Quadro 9:

Quadro 9 – Fluxo de trabalho no programa *Agisoft Metashape*

etapa	comando	produto
1	<i>Add photo</i>	Adicionar as fotos obtidas no levantamento.
2	<i>Align photo</i>	Alinha as fotos, o programa reconhece as fotos georreferenciadas e a gera a nuvem de pontos fotogramétricos.
3	<i>Build dense cloud</i>	Construção de nuvem densa, aumenta a quantidade de pontos, diminuindo os espaços vazios para representar melhor o modelo 3D.
4	<i>Build mesh</i>	Construção da malha por triangulação.
5	<i>Build texture</i>	Aplicação da textura.
6	<i>Build DEM</i>	Construção do modelo digital de elevação, relaciona as alturas dos objetos em solo.
7	<i>Build ortomosaic</i>	Construção do mosaico de fotos, as imagens sobrepostas são projetadas ortogonalmente com escala constante gerando a ortofoto.
8	Export	Os produtos gerados, podem ser exportados para diversos programas de interfaces de CAD, BIM e GIS.

Fonte: Autor

Os dados tridimensionais componentes da nuvem de pontos do primeiro e do segundo voo, apresentaram lacunas na torre, nos mosaicos laterais e principalmente no painel da fachada posterior da igreja, feito por Candido Portinari. Para corrigir estes problemas foi realizado o terceiro voo, em modo manual e, posteriormente a junção das imagens do segundo e terceiro voos, no programa *Agisoft Metashape* (Figura 47). Este processo demandou manipular todas as fotos do segundo e terceiro voos individualmente, buscando evitar sobreposições e conflitos.

Apesar de ter sido um processo lento, o resultado foi uma nuvem de pontos rica em detalhes. Essa nuvem de pontos mais detalhada foi utilizada como auxiliar na identificação das fissuras na cúpula e como base de suporte para os metadados no modelo HBIM.

Embora o *Agisoft metashape* possibilite gerar automaticamente uma superfície tridimensional a partir da nuvem de pontos, foi utilizado o programa *Autodesk Recap* para esse procedimento, buscando uma melhor qualidade do modelo.

Figura 47 – processo da junção das imagens obtidas nos dois voos (duplo grid e manual) no programa *Agisoft metashape*



Fonte: autor

#### 4.4 Geração do modelo HBIM

Após a etapa de “limpeza” da nuvem de pontos, mantendo exclusivamente o volume correspondente à igreja, a modelagem tridimensional foi realizada manualmente no software SketchUp Pro 2022. A escolha desse programa se justifica pela disponibilidade de um plugin específico para leitura de nuvens de pontos, incorporado em novembro de 2021, o que possibilitou maior integração entre os dados obtidos por fotogrametria e o processo de modelagem. Além disso, o SketchUp apresenta interface intuitiva e flexibilidade de uso, características que favorecem a construção de modelos complexos em menor tempo, e vem recebendo atualizações contínuas para adequação às práticas da metodologia BIM.

O modelo resultante foi desenvolvido no nível de detalhamento LoD 200, adequado para representar elementos arquitetônicos com precisão geométrica suficiente para análises de conservação. Posteriormente, o modelo foi exportado como biblioteca para o software Archicad, amplamente utilizado em fluxos de trabalho HBIM. Além do modelo 3D, o arquivo no Archicad reúne a nuvem de pontos utilizada na modelagem e informações ao modelo com a inclusão das fichas com o histórico de intervenções na Igrejinha da Pampulha (Anexo A).

## **4.5 Identificação de patologias e considerações para o monitoramento**

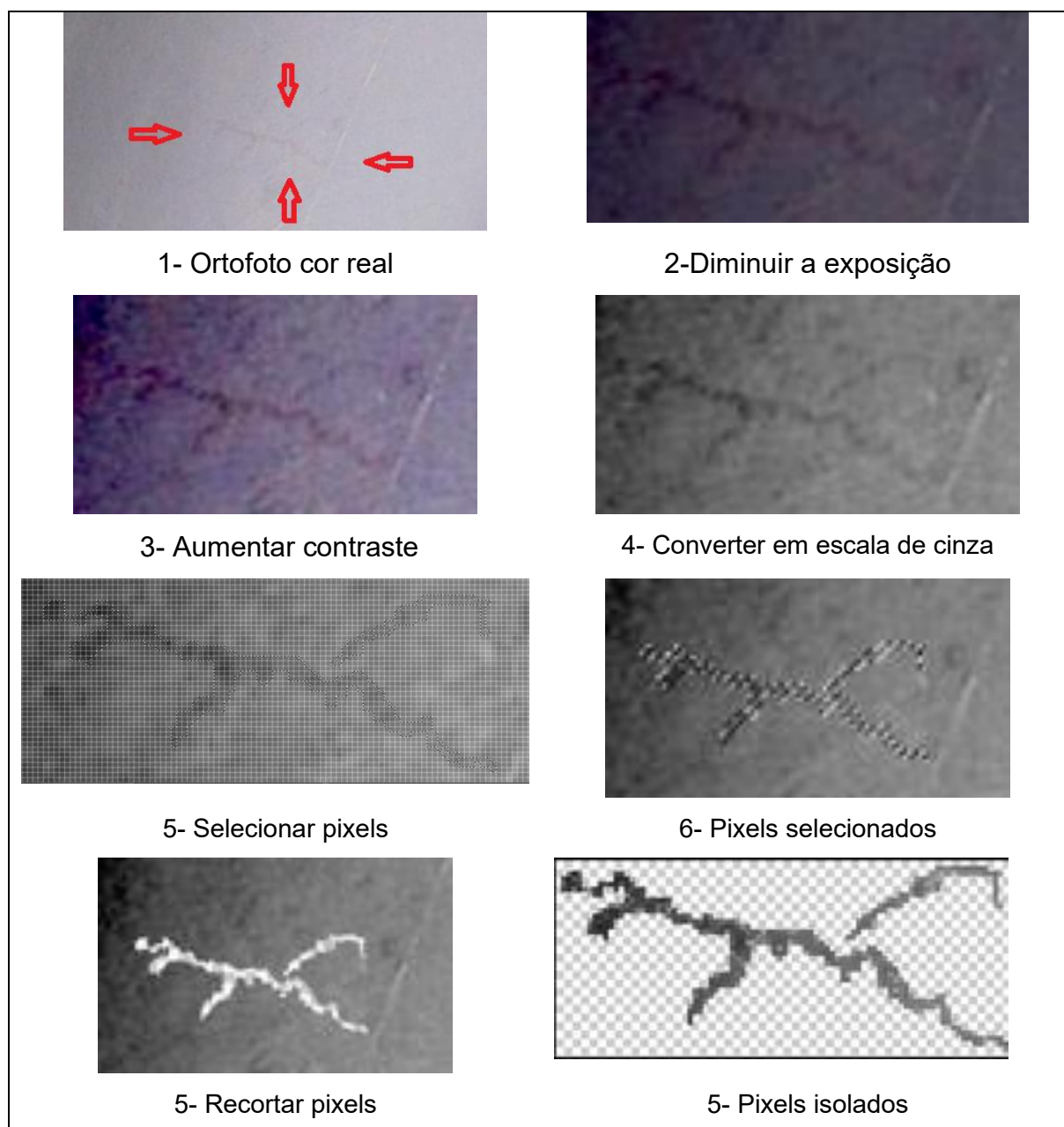
### **4.5.1 Método matricial: Procedimentos para o monitoramento dimensional de fissuras utilizando lógica Fuzzy**

Para o monitoramento da fissura foi utilizada a lógica fuzzy aplicada à morfologia matemática, a qual permite a análise e uma estruturação de imagens digitais.

#### **4.5.1.1 Etapa 1 - tratamento da imagem no Adobe Photoshop**

A (Figura 48) mostra o processo para obtenção da fissura isolada no programa Adobe Photoshop: a ortofoto obtida na cor real foi exportada para o programa (1), para o tratamento da imagem, a exposição da imagem foi diminuída (2), logo após o contraste foi aumentado, para exportar para o software *Image J.JS* a melhor solução foi exportar em escala de cinza (3), sendo que o processo de binarização da imagem neste programa é feito em duas cores: preto e branco, nos passos 4 e 5, apenas a área da fissura é selecionada e salva como arquivo *Portable Network Graphics* (PNG).

Figura 48 – Processo de tratamento de imagens no programa Adobe Photoshop

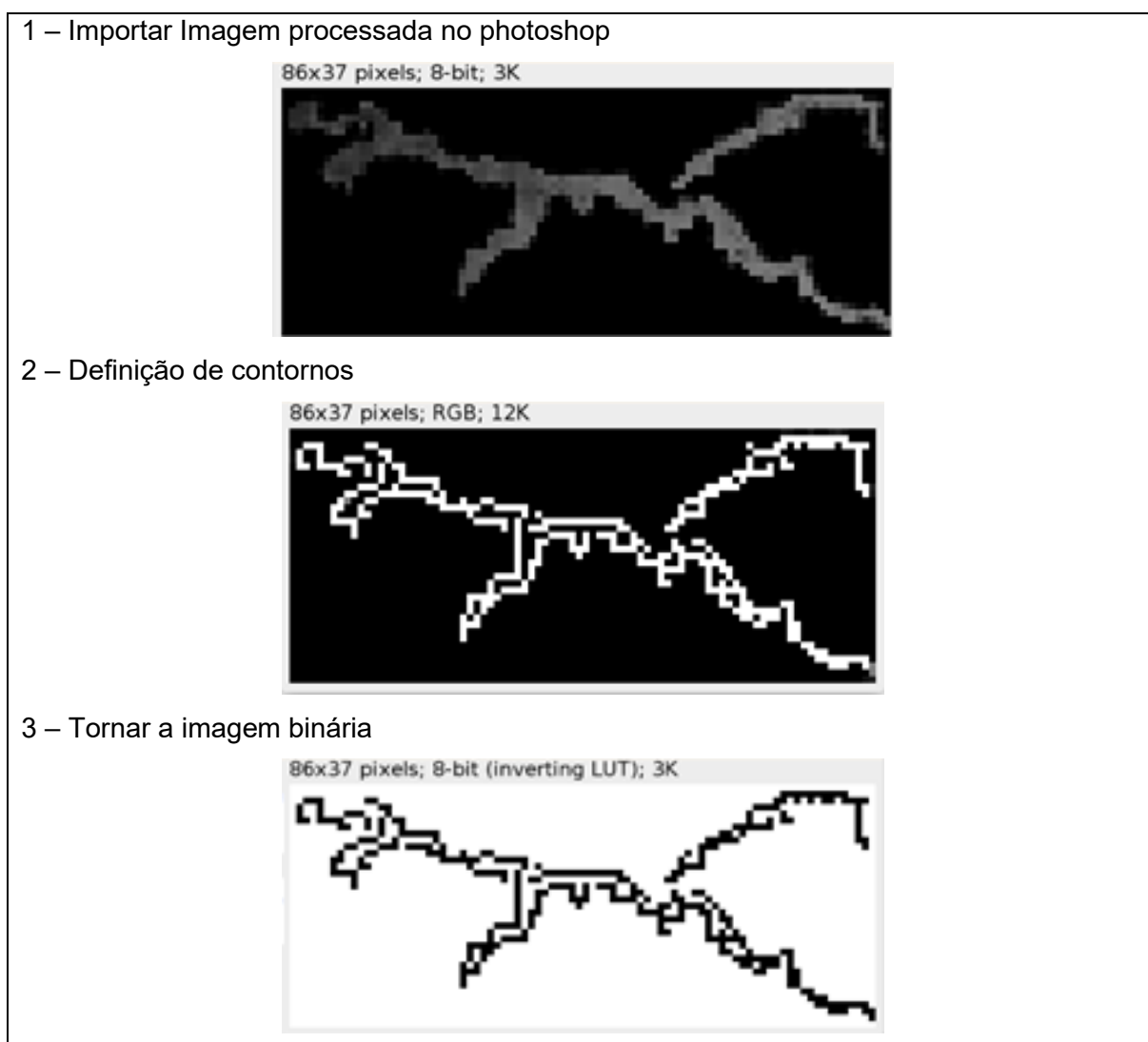


Fonte: autor

#### 4.5.1.2 Etapa 2 - Binarização de imagem no software Image J.JS

A Figura 49 mostra o processo de transformação da imagem selecionada no programa Adobe Photoshop em imagem binária (matricial). Após importar a fissura selecionada para o software Image J.JS (1), apenas dois comandos são necessários o de definição de contornos (2) e o comandado de transformar a imagem binária (3)

Figura 49 – Processo de binarização de imagens no software Image J.JS



Fonte: autor

#### 4.5.1.3 Etapa 3 - obtenção de métricas no Programa Autocad

A etapa 3 consiste em desenhar no programa Autocad a imagem binária da fissura gerada no software Image J.JS. O objetivo é poder contar precisamente os pixels em diversos sentidos, no caso desta pesquisa optou-se por trabalhar com a diagonal. A (Figura 50) mostra o desenho binário da fissura em sobre uma malha de 2x2 (tamanho do píxel obtido), realizado no programa Autocad.



Figura 51 – Processo de obtenção de métricas vetoriais

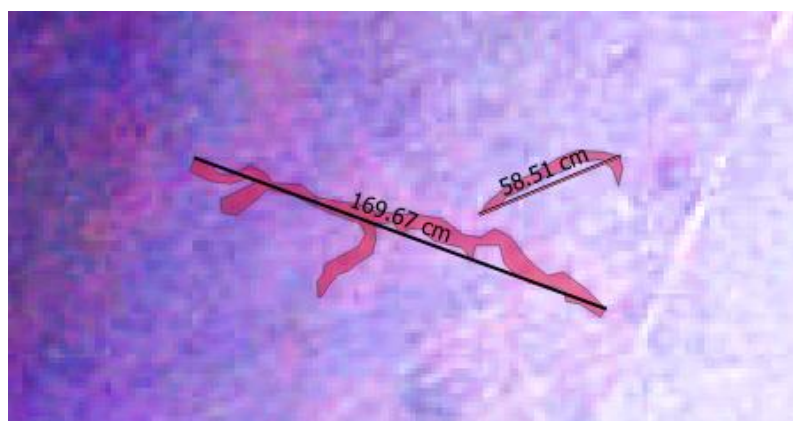
1 – Aumentar contraste



2 – Desenhar camada vetorial



3 – Cortar o vetor



Fonte: autor

4.5.3 Método pontual: obtenção de métricas de fissuras utilizando pontos georreferenciados no programa QGIS

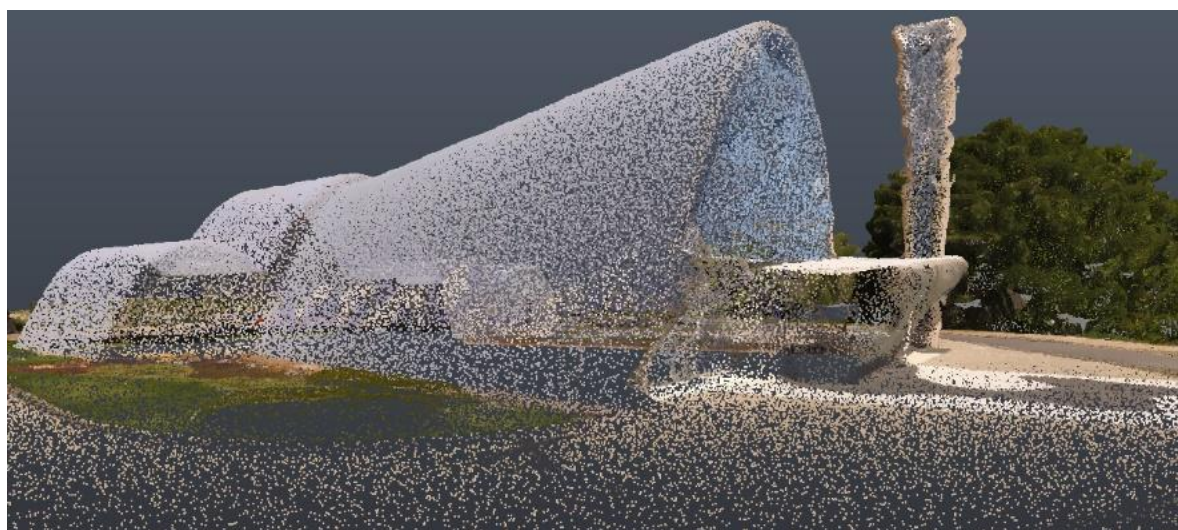
Com base em Germanese et al (2019) foi desenvolvido um método que consiste em marcar pontos georreferenciados em Software GIS com a intenção de monitorar o deslocamento ou a estabilização dos pontos. Para que se obtenha uma acurácia neste procedimento é necessária uma aferição dos pontos de controle com (GPS/RTK) e os equipamentos utilizados nesta pesquisa (GPS GARMIN e o Phantom 3 pró) possuem uma variação de 1 a 3 metros de precisão na locação geográfica. Embora este procedimento não tenha sido desenvolvido nesta pesquisa, o experimento realizado demonstra uma possibilidade para investigações futuras, uma vez que se espera poder monitorar em camadas os pontos georreferenciados.

## 5 CAPÍTULO: RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Resultados do processamento das imagens – geração de nuvens de pontos e ortofotos

O processamento no programa Agisoft metashape das imagens capturadas no dia 03/03/2021 resultou na nuvem de pontos (Figura 55), a qual foi utilizada apenas para gerar a ortofoto.

Figura 52 – Resultado da nuvem de pontos da Igrejinha da Pampulha no software *Agisoft Metashape*



Fonte: autor

A partir da nuvem de pontos, foi gerada a ortofoto com GSD medindo de 2 cm de lado na cúpula (Figura 53).

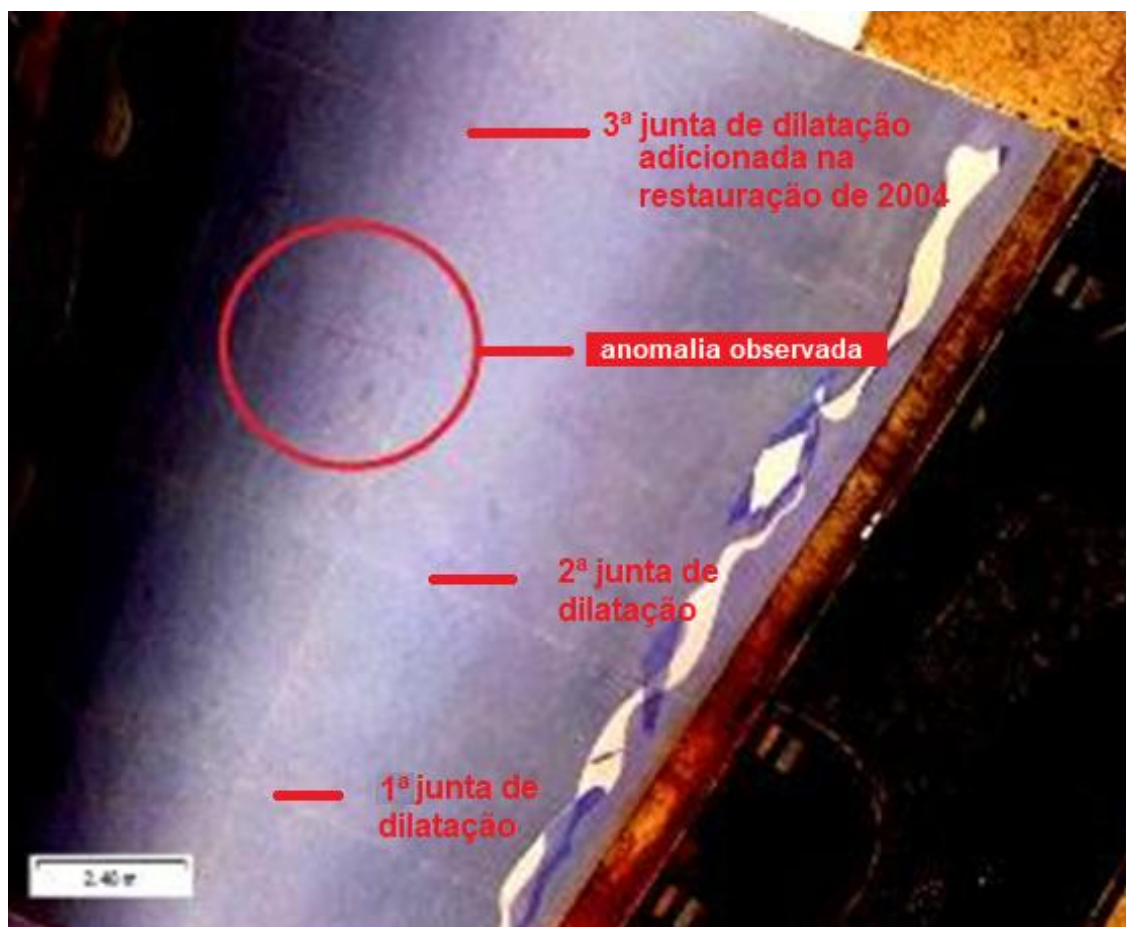
Figura 53 – Resultado da ortofoto da Igrejinha da Pampulha após processamento de imagens capturadas no dia 03/03/2021



Fonte: autor

Com a aproximação da imagem da ortofoto gerada, foi possível visualizar uma aparente anomalia construtiva na cúpula da igreja, entre a segunda junta de dilatação e a terceira junta de dilatação adicionada na restauração de 2004 (Figura 54).

Figura 54 – Fotografia aérea, localização de patologia



Fonte: autor

Devido a utilização do mesmo planejamento, tanto o primeiro quanto o segundo voo, obtiveram resultados similares na geração da nuvem de pontos e a ortofoto. Estes resultados foram utilizados para o experimento do monitoramento da fissura encontrada, utilizando os métodos matricial e vetorial.

A partir do terceiro voo, realizado em modo manual no dia 28/10/2021, aproximadamente a 1 metro de altura acima da cúpula, foram capturadas imagens com mais detalhes (Figura 55) para a elaboração do modelo HBIM.

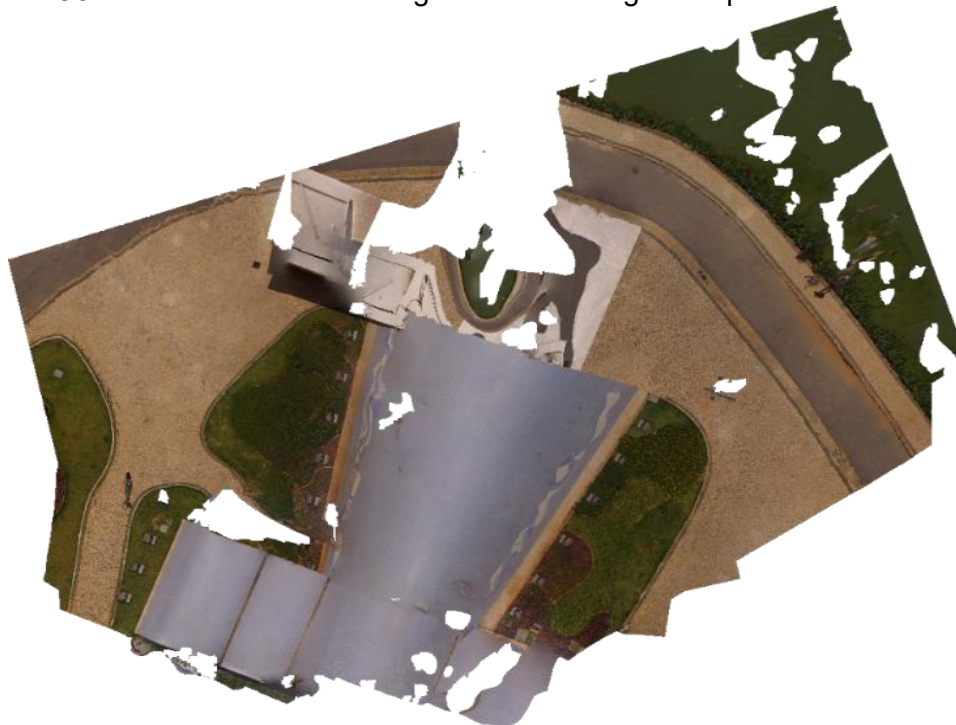
Figura 55 – Detalhe de imagem da cúpula principal, capturada no terceiro voo (modo manual)



Fonte: autor

Devido à falta de cobertura total da construção na execução do voo manual, ocorreram conflitos no alinhamento das imagens no software Agisoft metashape, não sendo possível gerar uma ortofoto completa da Igrejinha da Pampulha, a partir das imagens capturadas nesse voo (Figura 56).

Figura 56 – Resultado da ortofoto gerada com imagens capturadas no voo manual



Fonte: autor

Mesmo não conseguindo gerar a ortofoto completa da Igrejinha da Pampulha, o processamento resultou em uma ortofoto com GSD medindo de 4,83 mm de lado na cúpula (Figura 60), possibilitando uma análise muito mais precisa da fissura estudada, este resultado foi utilizado para a experimentação do método pontual.

Figura 57 – Detalhe da fissura após a geração da ortofoto com imagens do voo manual



Fonte: elaborado pelo autor

Visando a elaboração do modelo HBIM foram geradas duas nuvens de pontos: a primeira com os dados do segundo voo, realizado em 28/10/2021, com resultados apresentando algumas lacunas, na torre sineira e no painel de azulejos Portinari (Figura 58).

Figura 58 – Resultado da nuvem de pontos após processamento das imagens capturadas no voo planejado, realizado no dia 28/10/2021

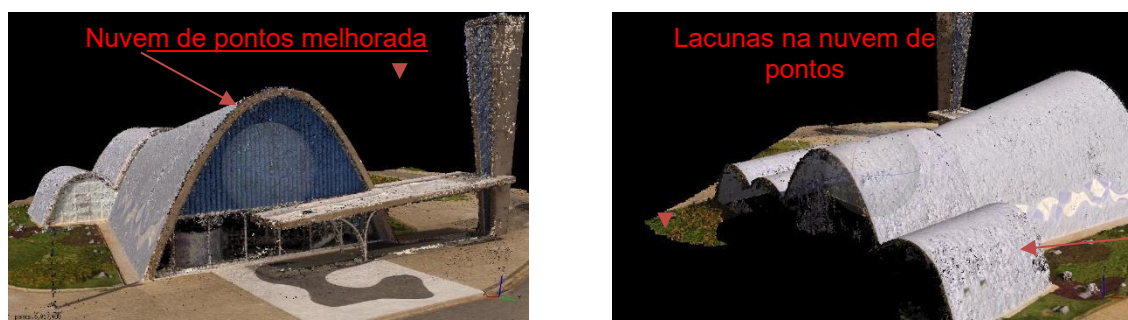


Fonte: elaborado pelo autor

Para preencher as lacunas observadas no processamento das imagens do segundo voo (28/10/2021), utilizou-se uma junção com as imagens do terceiro voo (na mesma data, em modo manual), procedimento esse que resultou uma nuvem de

pontos mais rica em detalhes, mas persistindo uma lacuna no painel de azulejos Portinari (Figura 59). Essa junção das nuvens, foi utilizada apenas para melhorar a modelagem 3D, não sendo utilizada para o monitoramento da fissura.

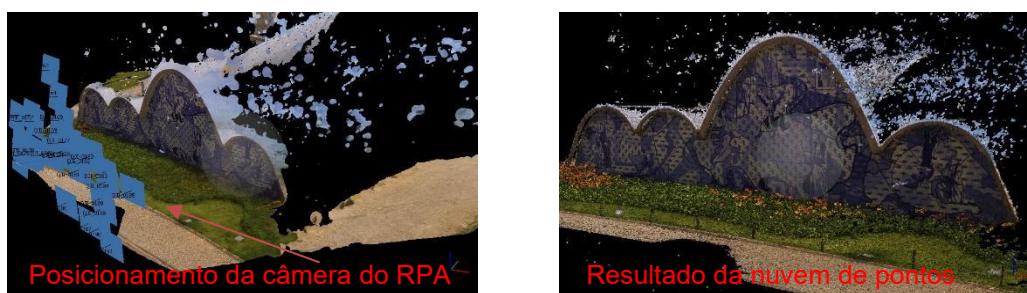
Figura 59 – Resultado da nuvem de pontos com a junção das imagens capturadas no segundo e terceiro voo



Fonte: autor

Para preencher a lacuna na fachada posterior, procedeu-se ao processamento, em separado das imagens dessa fachada, capturadas no terceiro voo (modo manual), gerando a nuvem de pontos mostrada na Figura 60.

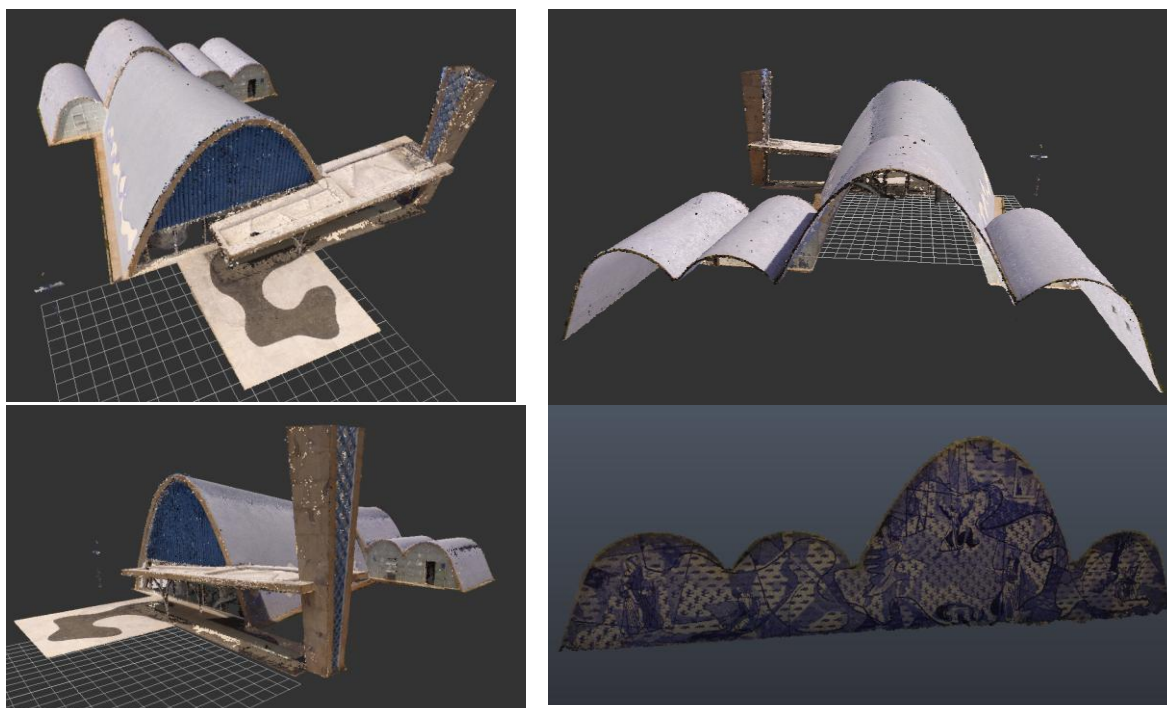
Figura 60 – Nuvem de pontos resultante do processamento em separado das imagens da fachada posterior – terceiro voo (modo manual)



Fonte: autor

Essas duas nuvens de pontos, resultantes da junção das imagens do segundo e terceiro vôos e do processamento da fachada posterior em separado, foram exportadas para o programa Recap, que foi utilizado para retirada de pontos excedentes (Figura 61).

Figura 61 – Resultado das nuvens de pontos limpas no software Recap

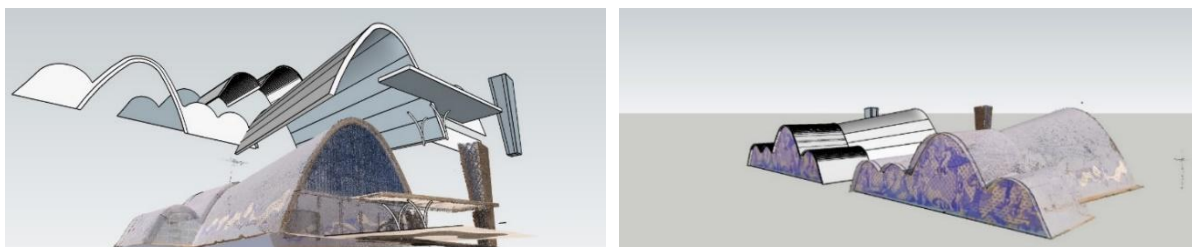


Fonte: autor

## 5.2 Geração de modelo HBIM

Após o processamento no Recap, a nuvem de pontos foi exportada para o programa Sketchup pró 2022, que possui um plugin para leitura de nuvem de pontos, o qual permite desenhar sobre a nuvem, para gerar o modelo. Para a geração do modelo HBIM, cada parte da igreja foi modelada separadamente e transformada em elementos componentes vetoriais. Esse processo, além de facilitar um futuro aprimoramento do modelo, também faz parte da metodologia BIM (Figura 62).

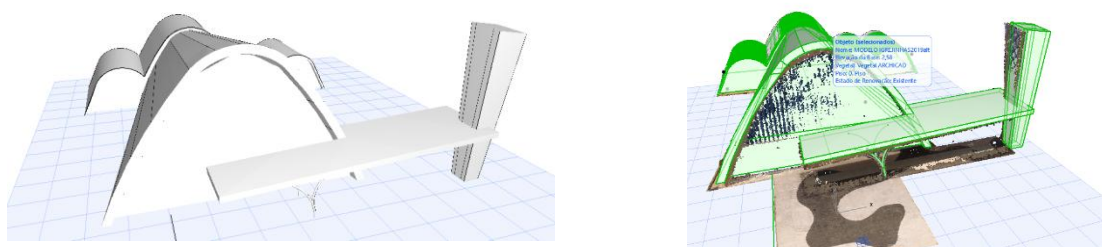
Figura 62 – Base do modelo HBIM elaborada no programa *Sketchup pró 2021*



Fonte: autor

O modelo foi então exportado para o programa Archicad, comumente utilizado para a metodologia BIM e a nuvem de pontos foi superposta ao modelo elaborado no Sketchup (Figura 63).

Figura 63 – Resultado da importação do modelo para o archicad modelagem

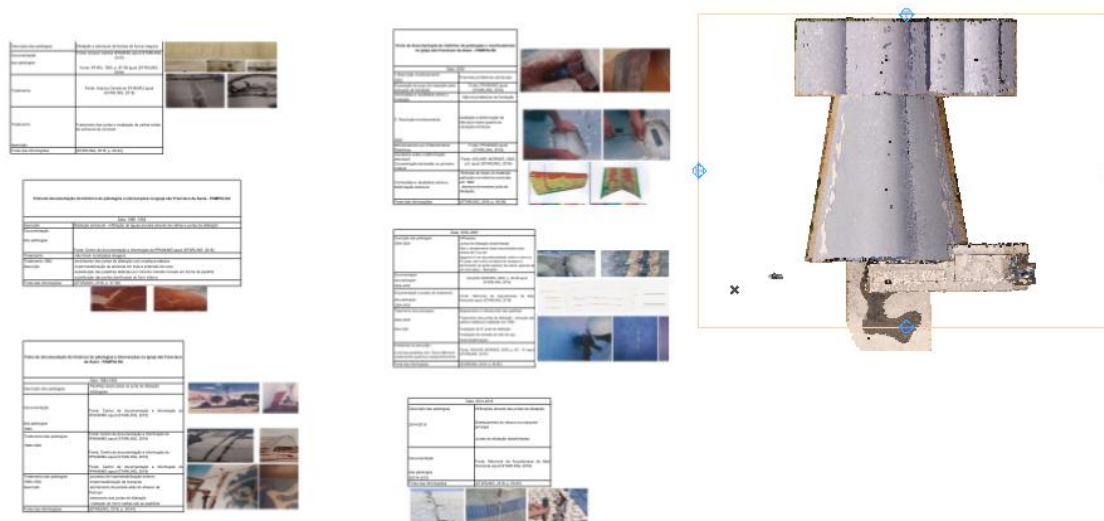


Fonte: autor

Após a importação da nuvem de pontos para o Archicad, com a finalidade de contribuir para a informações contidas no modelo segundo a metodologia HBIM, foram adicionadas as fichas contendo o histórico de intervenções da Igrejinha da Pampulha, elaboradas com referência em Starling (2018), apresentadas no Anexo A.

A Figura 64 mostra a importação das fichas do histórico de intervenções, junto ao modelo no programa Archicad de forma simplificada apenas adicionando os documentos em formato pdf ao modelo.

Figura 64 – Captura de tela do resultado da importação das fichas de histórico de intervenção ao modelo no Archicad



Fonte: autor

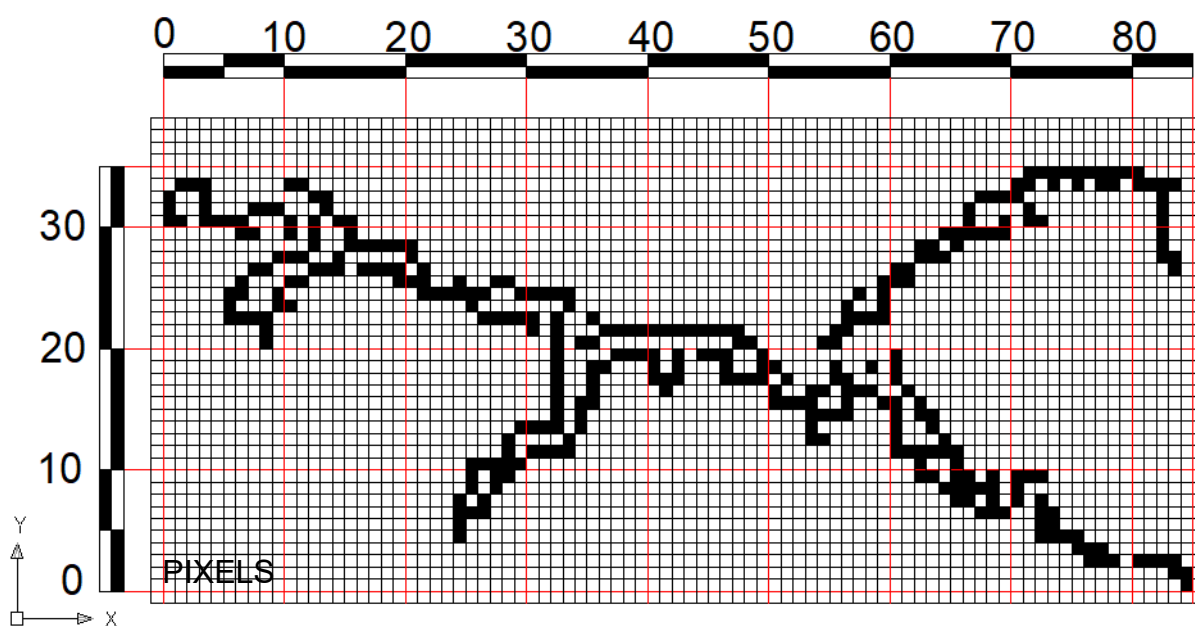
As fichas (vide Anexo A) foram vinculadas ao modelo por meio de um único documento em formato PDF, sem que houvesse incorporação das datas de intervenções ou alterações diretamente no próprio modelo correspondentes a cada fase. A integração dessas informações, com registro das datas e visualização no modelo, poderá ser desenvolvida em continuidade a este trabalho, tornando-se mais adequada à metodologia HBIM.

### 5.3 Resultados do monitoramento da patologia

#### 5.3.1 Método matricial: resultados dos procedimentos para o monitoramento dimensional de fissuras utilizando lógica Fuzzy

A Figura 65 mostra o resultado do processamento da ortofoto gerada com os dados do primeiro voo (03/02/2021), utilizando o método matricial. A imagem isolada da fissura foi transformada em imagem binária, com auxílio do programa *Image J.JS* com 85 pixels de comprimento, sendo que cada pixel da imagem corresponde a um quadrado de 2 cm de lado, na superfície estudada. O comprimento horizontal da fissura, obtido por esse método é de 170 cm.

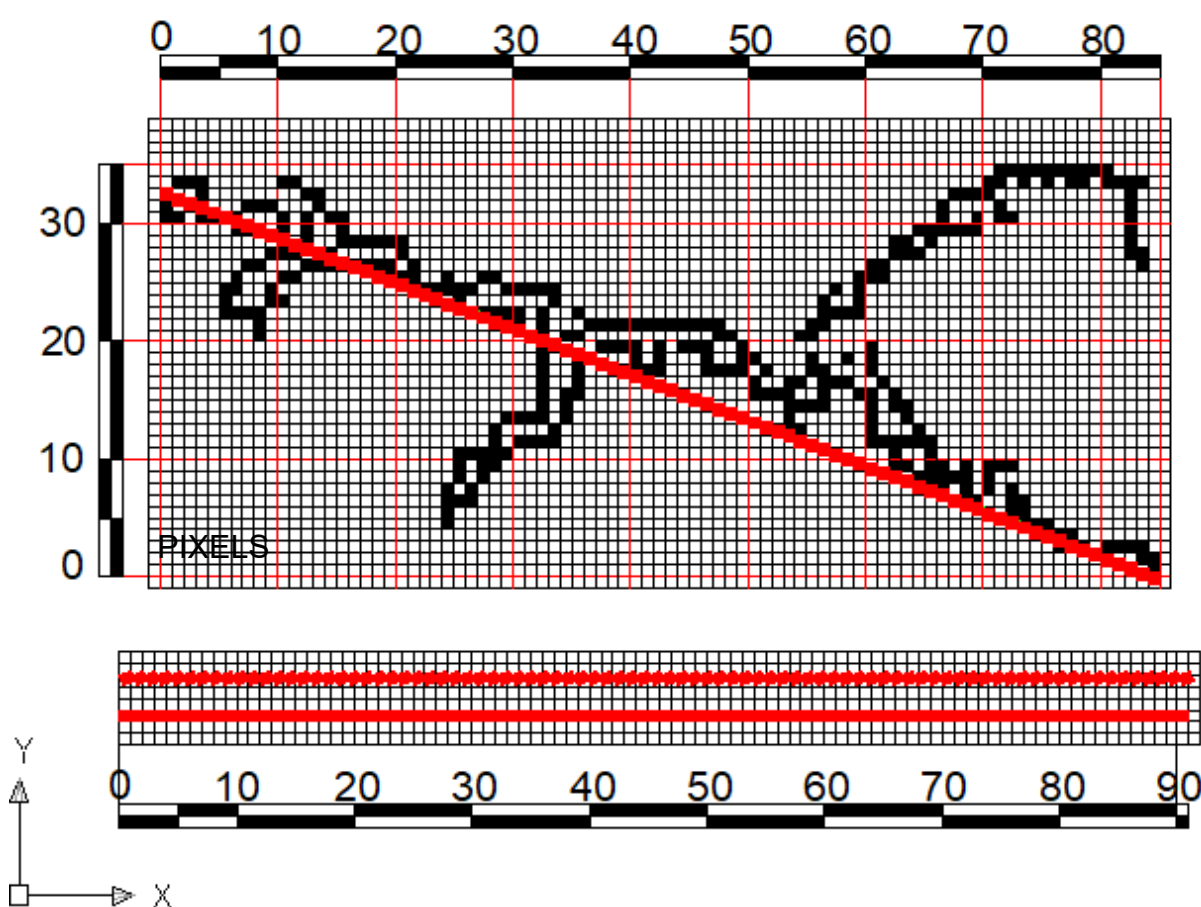
Figura 65 – Comprimento horizontal da fissura (85 pixels x 2 cm = 170 cm), com base no método matricial aplicado aos dados do primeiro voo (03/03/2021)



Fonte: autor

A figura 66 mostra o resultado da medição das extremidades da imagem binária gerada com os dados do primeiro voo (03/02/2021). Resultando em uma diagonal com 91 pixels de comprimento, sendo que cada pixel da imagem corresponde a um quadrado de 2 cm de lado, na superfície estudada. O comprimento diagonal da fissura, obtido por esse método é de 182 cm.

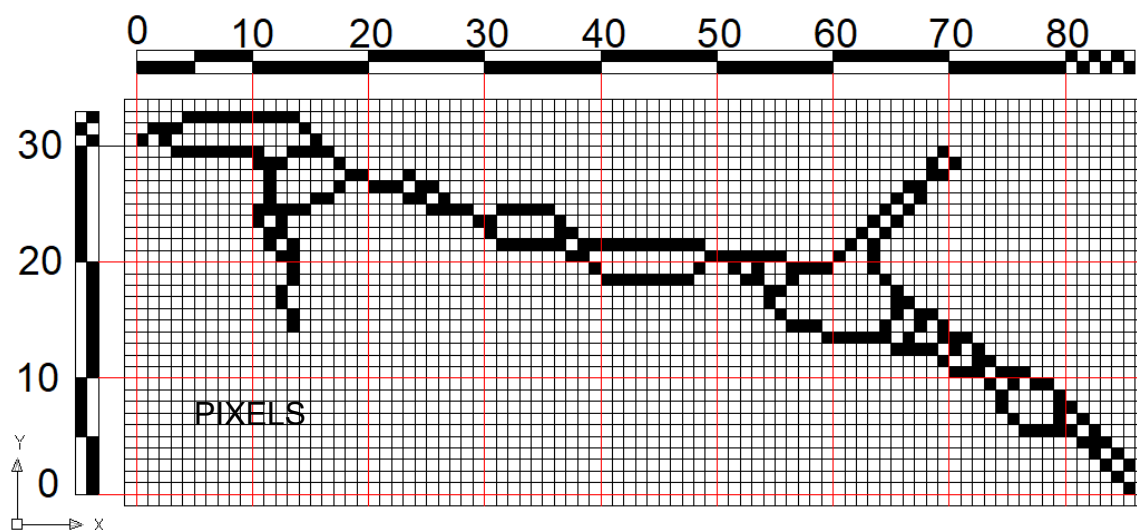
Figura 66 – Comprimento diagonal da fissura (91 pixels x 2 cm = 182 cm), com base no método matricial aplicado aos dados do primeiro voo (03/03/2021)



Fonte: autor

A Figura 67 mostra o resultado do processamento da ortofoto gerada com os dados do primeiro voo (28/10/2021), utilizando o método matricial. A imagem isolada da fissura foi transformada em imagem binária, com auxílio do programa *Image J.JS* com 86 pixels de comprimento, sendo que cada pixel da imagem corresponde a um quadrado de 2 cm de lado, na superfície estudada. O comprimento horizontal da fissura, obtido por esse método é de 172 cm.

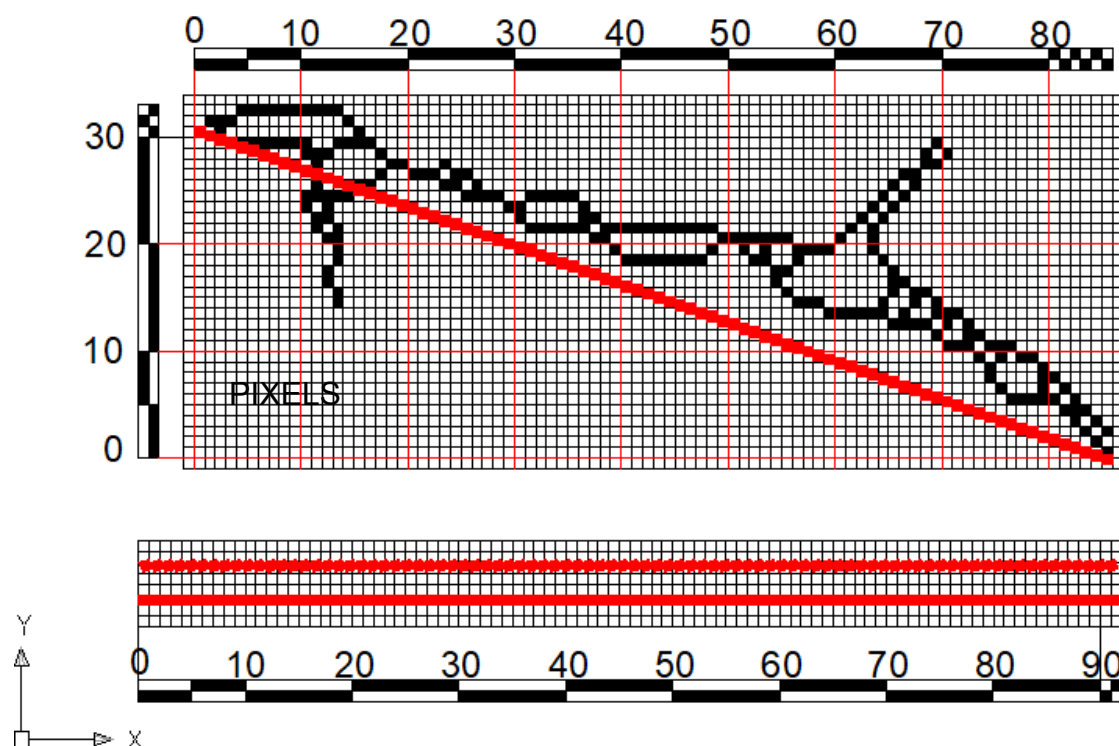
Figura 67 – Comprimento horizontal da fissura (85 pixels x 2 cm = 170 cm), com base no método matricial aplicado aos dados do primeiro voo (28/10/2021)



Fonte: autor

A figura 68 mostra o resultado da medição das extremidades da imagem binária gerada com os dados do primeiro voo (28/10/2021). Resultando em uma diagonal com 92 pixels de comprimento, sendo que cada pixel da imagem corresponde a um quadrado de 2 cm de lado, na superfície estudada. O comprimento diagonal da fissura, obtido por esse método é de 184 cm.

Figura 68 – Comprimento diagonal da fissura (91 pixels x 2 cm = 182 cm), com base no método matricial aplicado aos dados do primeiro voo (03/03/2021)

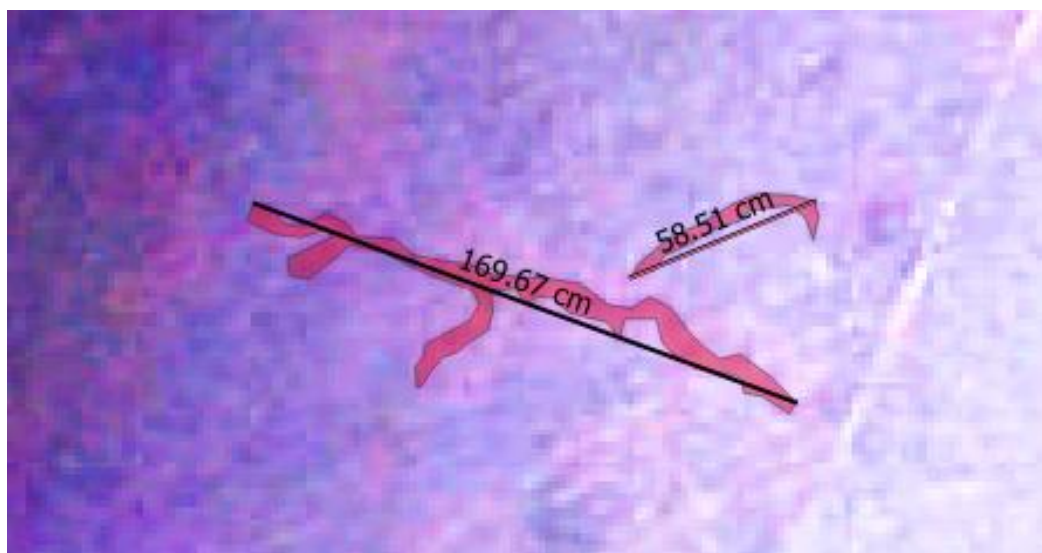


Fonte: autor

### 5.3.2 Método vetorial: resultados dos procedimentos para o monitoramento utilizando formas vetoriais no programa QGIS

A Figura 69 mostra o resultado da medição do comprimento das extremidades da fissura, utilizando um elemento vetorial (linha) desenhado no programa QGIS, sobre a ortofoto gerada com os dados do primeiro voo (03/03/2021), resultando em 169,67 cm de comprimento diagonal:

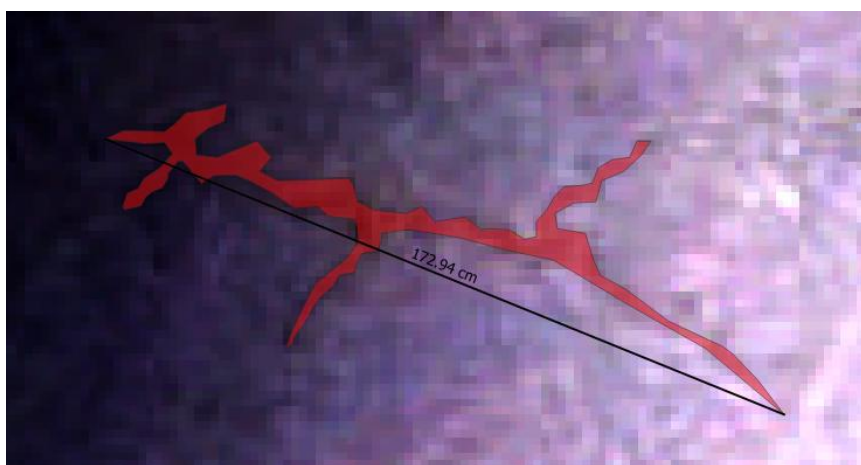
Figura 69 – Comprimento diagonal da fissura na cúpula principal = 169,67 cm, com base em elemento vetorial (linha) desenhada no programa QGIS, sobre a ortofoto gerada a partir dos dados do primeiro voo (03/03/2021)



Fonte: autor

A Figura 70 mostra o resultado da medição do comprimento das extremidades da fissura, utilizando um elemento vetorial (linha) desenhado no programa QGIS, sobre a ortofoto gerada com os dados do primeiro voo (28/10/2021), resultando em 172,94 cm de comprimento diagonal:

Figura 70 – Comprimento diagonal da fissura na cúpula principal = 172,94 cm, com base em elemento vetorial (linha) desenhada no programa QGIS, sobre a ortofoto gerada a partir dos dados do primeiro voo (28/10/2021)



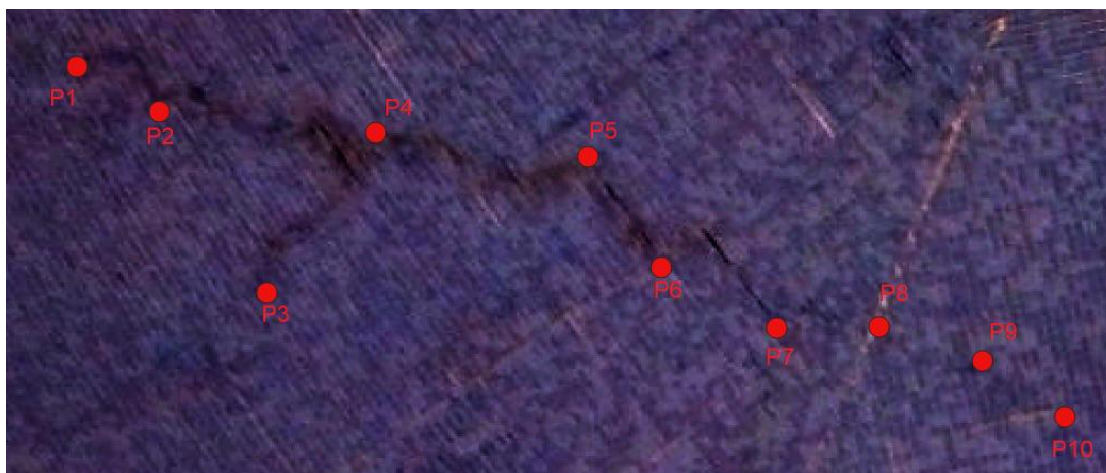
Fonte: autor

Vale ressaltar que no método vetorial, é possível monitorar a polilinha acompanhando o traçado em camadas no programa QGIS. Este procedimento não foi testado nesta pesquisa o experimento realizado demonstra uma possibilidade para investigações futuras e pode ser executado juntamente com o método pontual, uma vez que se espera poder monitorar em camadas os pontos georreferenciados.

### 5.3.3 Método pontual: obtenção de métricas de fissuras utilizando pontos georreferenciados no programa QGIS

Após o levantamento (duplo grid) realizado no dia 28/10/201 a ortofoto gerada, foi exportada para o software Qgis onde foram demarcados os pontos georreferenciados (Figura 71) e (Quadro 10).

Figura 71 – Marcação de pontos de coordenadas nas extremidades das fissuras após levantamento realizado no dia 28/10/2021



Fonte: autor

Quadro 10 – Coordenadas geográficas dos pontos marcados na borda da fissura

PONTO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS
P1	-43.97899919, -19.85832357
P2	-43.97899754, -19.85832451
P3	-43.97899546, -19.85832807
P4	-43.97899312, -19.85832493
P5	-43.97898917, -19.85832547
P6	-43.97898757, -19.85832766
P7	-43.97898530, -19.85832880
P8	-43.97898331, -19.85832872
P9	-43.97898132, -19.85832937
P10	-43.97897954, -19.85833062

Fonte: autor

Nota-se que o procedimento de mapeamento dos pontos foi realizado no levantamento do dia 28/03/2021 (segundo voo), mas devido a falta de acurácia dos pontos de controle a comparação dos resultados ficou inviável devido à grande divergência no georreferenciamento.

Espera-se em uma futura pesquisa poder utilizar equipamentos mais precisos para validar ou não o método

#### **5.4 Comparação dos resultados entre os métodos matricial e vetorial**

Os resultados obtidos pelos dois métodos indicam um aumento na dimensão da fissura em menos de um ano de monitoramento em ambos os casos, conforme resultados na (Quadro 11), apesar dos dois métodos possuírem uma imprecisão de 2 centímetros quadrados conforme o valor do píxel obtido para analisar as imagens.

Quadro 11 – Resultados comparativos dos métodos Matricial e Vetorial

método	data	Dimensão da diagonal resultante da fissura estudada (cm)
Matricial	03/03/2021	182 cm
Vetorial	03/03/2021	169,67 cm
Matricial	28/10/2021	184 cm
Vetorial	28/10/2021	172,94 cm

Fonte: elaborado pelo autor

Os resultados indicam que a mensuração de fissuras por imagens obtidas por RPA e analisadas tanto pela lógica Fuzzy (método matricial) e por medições vetoriais, são eficazes como uma metodologia de Inspeção Não Intrusiva (INI). Apesar das divergências na obtenção da métricas, os resultados obtidos pelos dois métodos Matricial e Vetorial podem ser considerados em termos da evolução da fissura desde que no levantamento obtenha-se um valor de píxel menor.

Vale ressaltar que a fissura mensurada possui um tamanho significativo em relação ao tamanho do edifício. Por limitações do tempo da pesquisa os métodos não foram aplicados a fissuras menores.

### **5.5 Outras possibilidades de técnicas diagnósticas INI experimentadas na pesquisa**

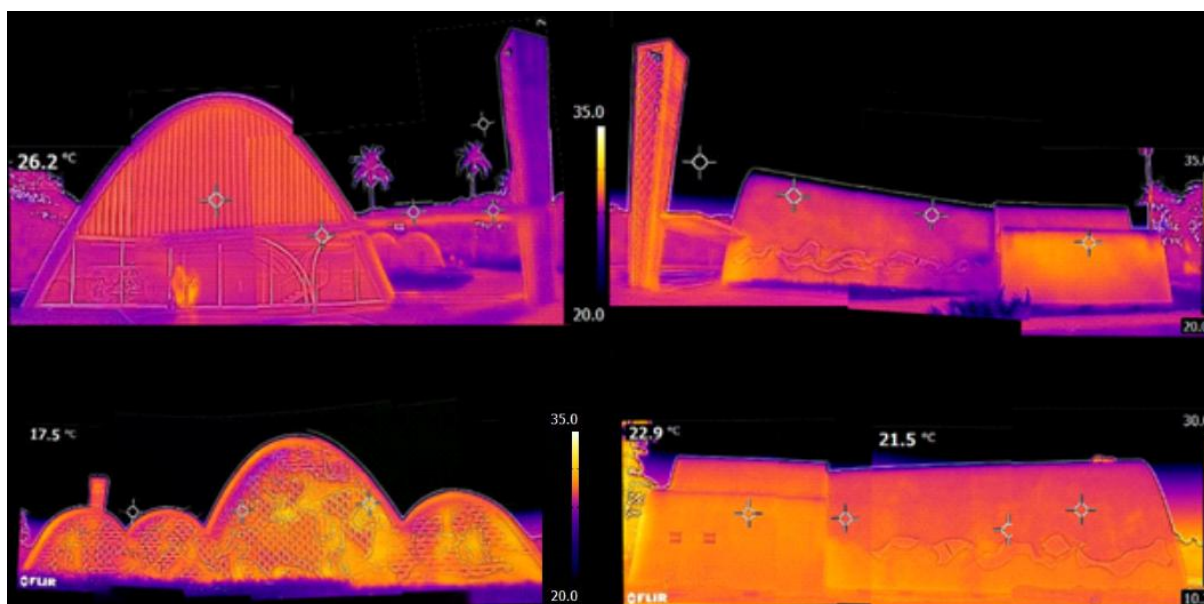
Embora não tenha sido o foco desta pesquisa, durante os estudos, a utilização do programa QGIS, demonstrou a possibilidade de mapear e monitorar patologias, como por exemplo, fissuras, com a marcação de pontos georreferenciados, (método pontual), mas que infelizmente não foi explorado devido às limitações dos equipamentos utilizados (vide item 3.6).

Durante a pesquisa foram geradas algumas imagens termográficas, com o objetivo de verificação complementar de anomalias na estrutura da Igreja, o qual demonstrou uma possibilidade de agregar informações valiosas aos levantamentos realizados com RPAs. A figura 74 mostra uma fotomontagem preliminar de imagens

geradas no dia 01/12/2021, onde, apesar de não terem sido realizadas com o rigor científico que a técnica exige, é possível visualizar mudanças de temperaturas nas pastilhas onde segundo Cortizo (2007), podem significar humidade ou deslocamento.

A termografia é uma técnica eficaz de inspeção não invasiva, quanto ao monitoramento de patologias construtivas com e a utilização do equipamento embarcado em RPAs, demonstra a necessidade da câmera possuir GPS principalmente se for para complementar o monitoramento realizados por RPAs (Figura 72).

Figura 72 – Fotomontagem preliminar de levantamento termográfico da Igrejinha da Pampulha



Fonte: elaborado pelo autor

## 5.6 Limitações e incertezas dos métodos utilizados na pesquisa

Foram observadas algumas vantagens e desvantagens na utilização dos dois métodos (Matricial e vetorial) para obtenção de métricas e a mensuração das fissuras: sendo a principal vantagem é que em ambos os métodos são técnicas de Inspeção não Intrusiva (INI), outra vantagem é que os resultados foram similares, e indicaram que houve um aumento da fissura no espaço de tempo em que foi realizado o monitoramento. A desvantagem principal é a falta de precisão nos dados obtidos, uma vez que devido a segurança dos voos, a melhor opção foi voar a 45 metros de altura do solo, que resultou em imagens processadas com píxel de 2 cm quadrados, o que é muito para mensurar uma fissura.

Quadro 12 – Comparação entre os métodos Matricial e Vetorial

	Vantagem	desvantagem
Método matricial	A Lógica Fuzzy apresenta resultado e interpretação matemática.	A forma quadrada do píxel interfere na precisão das métricas obtidas.
Método vetorial	A análise vetorial possui mais precisão. O vetor pode ser trabalhado em camadas no Software QGIS, sobrepondo o monitoramento.	A imagem no software QGIS sofre distorção ao utilizar bastante zoom, forçando desenhar a camada vetorial com uma certa distância, ao contrário de programas específicos de tratamento de imagens como o Adobe Photoshop

Fonte: autor

Sendo assim, a lógica Fuzzy (método matricial) pode ser utilizada para conferir resultados preliminares, principalmente em fissuras maiores, mas a contagem de píxel demonstra imprecisão no resultado devido a sua forma quadrada, mas ao mesmo tempo é uma forma científica de verificação de resultados. Já utilização da métrica vetorial (método vetorial) resulta em uma precisão milimétrica e ainda possibilita o monitoramento com a utilização de coordenadas geográficas.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa cumpriu o objetivo de investigar como a fotogrametria por RPA pode ser utilizada no monitoramento de manifestações patológicas construtivas.

Os métodos utilizados, demonstraram a possibilidade da utilização das RPAs como ferramentas de Inspeção não Invasiva (INI), principalmente quando o local a ser inspecionado é de difícil acesso, ou quando a inspeção poderia causar algum dano à edificação.

Os métodos utilizados se mostraram úteis para o monitoramento da patologia construtiva (fissura) na cúpula da igreja de São Francisco de Assis, consideradas as limitações em termos de precisão das métricas obtidas.

A pesquisa permitiu experimentar uma técnica que pode ser considerada de boa relação custo-benefício, para a inspeção e monitoramento de patologias construtivas.

A pesquisa ainda contribuiu para a continuidade da pesquisa em nível de Mestrado do arquiteto Otávio Starling (2018) e a criação de um modelo HBIM da Igreja São Francisco de Assis.

Como possíveis desdobramentos em trabalhos futuros indica-se a continuidade ao desenvolvimento do modelo HBIM, e validação do método pontual com a utilização de equipamentos mais precisos, aliados a outras técnicas diagnósticas com utilização de RPAs, como a termografia.

## REFERÊNCIAS

ABENDI. *Guia Abendi de END e Inspeção*. São Paulo: Abendi, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.abendi.org.br/abendi/default.aspx?mn=1028&c=174&s=&friendly=>>. Acesso em: 8 abr. 2021.

AIA. *Digital Practice Documents: Guide, Instructions and Commentary*. Washington, DC: AIA, 2013. p. 1–62. Disponível em: <<https://oliebana.files.wordpress.com/2014/02/aiab095711.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2021.

AMARAL, L. D.; ANDRADE, A. D. O. *Uso da Morfologia Matemática Fuzzy no Processamento de Imagens para Reconhecimento de Placas de Veículos*. Revista de Computação, v. 5, n. 1, 2017. ISSN 2446-7812. Disponível em: <<http://revistacomputacao.uesb.br/index.php/revistacomputacao/article/view/12>>. Acesso em: 15 mar. 2021.

ANDRADE, A. O. *Sistema de Contagem com Morfologia Matemática Fuzzy*. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

ANDRADE, R. M. F. D. *Rodrigo e o SPHAN*. Rio de Janeiro: MinC/SPHAN/FNPM, 1987.

ARAUJO, A. P. R. Panorama da utilização das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação – TICS para documentação do Patrimônio material imóvel no Brasil. In: *Seminário Ibero-Americano Arquitetura e Documentação*, 5., 2017, Salvador. Anais [...]. Salvador: [s.n.], 2017.

ARAÚJO, C. A. Á. *Novo quadro conceitual para a ciência da informação: informação, mediação e cultura*. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO, XVII., 2016, Salvador. Anais [...]. Salvador: UFBA: [s.n.], 2016. p. 1402–1417.

ARQUIVO NACIONAL. *Dicionário brasileiro de terminologia arquivística*. Rio de Janeiro: [s.n.], 2005.

AVRAMI, E.; RANDERIA, S.; MYERS, M.; AUSTIN, D. M. Introduction. In: AVRAMI, E.; RANDERIA, S.; MYERS, M.; AUSTIN, D. M. (Ed.). *Values in Heritage Management: Emerging Approaches and Research Directions*. Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 2019. p. 18.

AVRAMI, E. *Spatializing Values in Heritage Conservation: The Potential of Cultural Mapping*. In: AVRAMI, E.; RANDERIA, S.; MYERS, M.; AUSTIN, D. M. (Ed.). *Values in Heritage Management: Emerging Approaches and Research Directions*. Los Angeles: [s.n.], 2019. p. 35–49.

BARRANHA, H. *Patrimônio Cultural: conceitos e critérios fundamentais*. Lisboa: IST Press; ICOMOS-Portugal, 2016.

BAUMAN, Z. *Ensaio sobre o conceito de cultura*. Rio de Janeiro: Zahar, 2012.

- BEDIN, C. *Estratégias para inspeção do estado de conservação de fachadas com o uso de RPAs e Laser Scanner*. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. p. 124.
- BEIGUELMAN, G. *Da cidade interativa às memórias corrompidas: arte, design e patrimônio histórico na cultura urbana contemporânea*. São Paulo: [s.n.], 2016.
- BRAGA, S. Apresentação. In: OLIVEIRA, M. M. D. *A documentação como ferramenta de preservação da memória*. Brasília, DF: IPHAN; Programa Monumenta, 2008. p. 7.
- BRANDALIZE, A. A. *Perfilamento a LASER: comparação com métodos fotogramétricos*. Esteio, 2001. Disponível em: <<https://www.esteio.com.br/download/trabalhos-e-artigos/>>. Acesso em: 2 nov. 2019.
- CARNEVAL, R. D. O.; SILVEIRA, T. F. D.; CARMONA, W. C. *Novas iniciativas em inspeção não intrusiva*. Abendi, São Paulo, v. Ano IX, n. 98, p. 18–21, ago. 2020.
- CARSALADE, F. D. L. *A pedra e o tempo: arquitetura como patrimônio cultural*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.
- CASTELLO, L. *A percepção de lugar: repensando o conceito de lugar em arquitetura-urbanismo*. [S.l.]: Propar, UFRGS, 2007.
- CASTRIOTA, L. B. *Patrimônio cultural: conceitos, políticas, instrumentos*. Belo Horizonte: Anablume, 2009.
- CHOAY, F. *A alegoria do patrimônio*. Tradução de Luciano Vieira Machado. São Paulo: Unesp, 2001.
- CORTIZO, E. C. *Avaliação da técnica de termografia infravermelha para identificação de estruturas ocultas e diagnóstico de anomalias em edificações: ênfase em edificações do patrimônio histórico*. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Também apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Artes da Escola de Belas Artes da UFMG.
- COSTA, L. *Documentação necessária*. *Revista do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional*, Rio de Janeiro, n. 01, p. 31–39, 1937.
- CUPERSCHMID, A. R. M. et al. *Casa de Vidro: BIM e gestão do patrimônio histórico arquitetônico*. *Cadernos do PROARQ*, Rio de Janeiro, v. 30, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2018.
- CUPERSCHMID, A. R. M. *Modelagem da informação da construção histórica*. In: *Conaendi & IEV 2021*. São Paulo: Abendi, 2021. Palestra.
- CUPERSCHMID, A. R. M.; DA SILVA. *HBIM e patologias das edificações históricas: uma análise quantitativa da revisão sistemática da literatura*. In: *HBIM – Encontro Brasileiro de Modelagem da Informação da Construção e Patrimônio Cultural*, 2019, São Carlos. Anais [...]. São Carlos: [s.n.], 2019.
- DAVIS, B. E. *GIS: a visual approach*. Albany, NY: Delmar Thomson Learning, 2001.
- DAWSEY, J. C. Patrimônio, informação e mediações culturais na contemporaneidade: perspectivas de Walter Benjamin e antropologia da performance. In: SILVA, R. A.; GOMES, F. C.; SANTOS, D. S.; FERREIRA, F. L.; MARTINS, S. C. (Org.). *Patrimônio, informação e mediações culturais*. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2020. p. 15–46.

- DEBORD, G. *A sociedade do espetáculo*. Tradução de Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto; São Paulo: Editora UNESP, 1997.
- DRONENG. *Planejamento de voo: tudo que você precisa saber*. blog.droneng.com.br, 2018. Disponível em: <<https://blog.droneng.com.br/planejamento-de-voo-tudo-que-voce-precisa-saber/>>. Acesso em: 21 jan. 2021.
- ESCHMANN, C.; KUO, C.-M.; BOLLER, C. *Unmanned Aircraft Systems for Remote Building Inspection and Monitoring*. In: *6th European Workshop on Structural Health Monitoring*, 2012. Th.2.B.1. Disponível em: <<https://www.ndt.net/article/ewshm2012/papers/th2b1.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2021.
- FABRÍCIO, M. M. et al. *Modelagem BIM para o registro digital do patrimônio arquitetônico moderno*. *Projetar*, Rio de Janeiro, v. 6, n. 1, jan. 2021.
- FABRÍCIO, M. M.; JÚNIOR, J. C. F.; COSTA, H. A. *BIM and aerial photogrammetry: building documentation of E1 – USP São Carlos*. In: *XXII Congresso da Sociedade Iberoamericana de Gráfica Digital*, São Carlos, 2018. p. 1–7.
- FARIAS, J. C. *BIM para patrimônio histórico*. spbim, 2021. Disponível em: <<https://spbim.com.br/bim-para-patrimonio-historico/>>. Acesso em: 22 abr. 2021.
- FEENBERG, A. *Critical theory of technology*. 2004. Disponível em: <[www.sfu.ca/~andrewf/critport.pdf](http://www.sfu.ca/~andrewf/critport.pdf)>. Acesso em: 1 nov. 2019.
- FERES, L. R. *Paisagem cultural e paisagem urbana histórica: reflexões acerca dos conceitos e os desafios do conjunto moderno da Pampulha patrimônio cultural da humanidade*. In: *Anais do Simpósio Científico – ICOMOS Brasil*, Belo Horizonte, 2017.
- FUNDAÇÃO MUNICIPAL DE CULTURA – FMCBH. *Dossiê Conjunto Moderno da Pampulha*. Belo Horizonte: Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, 2014. p. 481.
- FRONER, Y. A. *Os domínios da memória: um estudo sobre a construção do pensamento preservacionista nos campi da Museologia, Arqueologia e Ciência da Conservação*. 2001. Tese (Doutorado em Filosofia) – Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, São Paulo.
- ICOMOS. *ICOMOS Interpretation Charter*. icip.icomos.org, 2008. Disponível em: <[http://icip.icomos.org/downloads/ICOMOS\\_Interpretation\\_Charter\\_ENG\\_04\\_10\\_08.pdf](http://icip.icomos.org/downloads/ICOMOS_Interpretation_Charter_ENG_04_10_08.pdf)>. Acesso em: 6 maio 2021.
- ICOMOS. *Pampulha Modern Ensemble (Federal Republic of Brazil) No 1493*. 11 mar. 2016. Disponível em: <<https://whc.unesco.org/document/152798>>. Acesso em: 6 maio 2019.
- IPF. *História da fotografia digital: uma introdução*. Instituto Português de Fotografia, 2017. Disponível em: <<https://ipf.pt/site/historia-fotografia-digital/>>. Acesso em: 3 abr. 2021.
- IPHAN. *Bens tombados*. portal.iphan.gov.br, 2015. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/126/>>. Acesso em: 19 abr. 2021.
- KIOUSSI, A. et al. *Integrated documentation protocols enabling decision making in cultural heritage protection*. *Journal of Cultural Heritage*, p. e141–e146, fev. 2013.
- LAPIS. *Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélite*. lapismet.com.br, 2021. Disponível em: <<http://www.lapismet.com.br/>>. Acesso em: 24 abr. 2021.

LATOURE, B. *Jamais fomos modernos: ensaios da antropologia simétrica*. Tradução Carlos Irineu da Costa. Paris: 34, 1993.

LE GOFF, J. *História e memória*. Tradução Bernardo Leitão. Campinas, SP: UNICAMP, 1990.

LEE, Y.-C.; EASTMAN, C. M.; SOLIHIN. *Logic for ensuring the data exchange integrity of building information*. *Automation in Construction*, n. 93, jan. 2018. p. 388–401.

LETELLIER, R. *Recording, documentation, and information management for the conservation of heritage places: guiding principles*. Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 2007.

LÉVY, P. *As tecnologias da inteligência: o futuro do pensamento na era da informática*. Tradução Carlos Irineu da Costa. [S.l.]: 34, 1993.

LIMA, J. M. C. *Reconhecimento e análise de rachaduras a partir de imagens para monitoramento em regiões com atividades sísmicas frequentes*. 2019. Dissertação (Mestrado em Informática) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió.

LIPOVETSKY, G. *Os tempos hipermodernos*. Tradução Mario Vilela. São Paulo: Barcarolla, 2004.

LÓPEZ, F. J. et al. *A review of Heritage Building Information Modeling (H-BIM)*. *Multimodal Technologies and Interaction*, v. 2, n. 2, p. 21, 5 maio 2018. ISSN 2414-4088. DOI: 10.3390/mti2020021. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2414-4088/2/2/21>>. Acesso em: 8 out. 2021.

MACEDO, D. M. *A matéria da invenção: criação e construção das obras de Oscar Niemeyer em Minas Gerais – 1938–1954*. 2002. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura, Belo Horizonte.

MARINO, T. B. *Representação de dados espaciais – Raster x Vetor x TIN*. UFRRJ, 2010. Disponível em: <<http://ufrj.br/lga/tiogomarinou/aulas/5%20-%20Representacao%20de%20Dados%20Espaciais%20-%20Raster%20x%20Vetor%20x%20TIN.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2021.

MARQUES, F. *Inspeção não intrusiva – INI: prós e contras à sua aplicação*. ibp.org.br, 2016. Disponível em: <<https://www.ibp.org.br/personalizado/uploads/2016/07/Inspe%C3%A7%C3%A3o-N%C3%A3o-Instrusiva-Norma-ABNT-Francisco-Marques.pdf>>. Acesso em: 8 abr. 2021.

MARTINS, A. P.; PIZOLATO JUNIOR, J. C.; BELINI, V. L. *Método baseado em imagem para monitoramento de abertura de fissura em alvenaria e concreto usando plataforma móvel*. *IBRACON de Estruturas e Materiais*, São Paulo, v. 6, jun. 2013.

MOTTA, L.; REZENDE, M. B. *Inventário*. *Dicionário Patrimônio Cultural*, 2017. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/dicionarioPatrimonioCultural/detalhes/64/inventario>>. Acesso em: 19 abr. 2021.

NOARDO, F. *Architectural heritage information in 3D geospatial models: developing opportunities and challenges*. In: *Proceedings of the 4th International Congress Science and Technology for the Conservation of Cultural Heritage (Technoheritage 2019)*. London, UK: Taylor & Francis Group, 2020. p. 435.

- OLIVEIRA, E. B. D.; RODRIGUES, G. M. *O conceito de memória na Ciência da Informação: análise das teses e dissertações dos programas de pós-graduação no Brasil*. *Liinc em Revista*, Rio de Janeiro, v. 7, p. 311–328, mar. 2011. ISSN: <http://www.ibict.br/liinc>.
- OLIVEIRA, M. M. *A documentação como ferramenta de cadastro preservação da memória: fotografia, fotogrametria e arqueologia*. Brasília, DF: IPHAN, Programa Monumenta, 2008.
- ORTIZ, R. *Reflexões sobre a pós-modernidade: o exemplo da arquitetura*. *Revista Brasileira de Ciências Sociais*, 1992. Disponível em: [http://www.anpocs.com/images/stories/RBCS/20/rbcs20\\_10.pdf](http://www.anpocs.com/images/stories/RBCS/20/rbcs20_10.pdf). Acesso em: 20 mar. 2021.
- PANISSET, A. M. *O inventário como ferramenta de diagnóstico e conservação preventiva: estudo de caso da coleção "Santos de Casa" de Marcia de Moura Castro*. 2011. Dissertação (Mestrado em Artes) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Belas Artes, Belo Horizonte. p. 264.
- PEREIRA FILHO, H. F. *Documentação*. In: REZENDE, M. B.; GRIECO, B.; TEIXEIRA, L.; THOMPSON, A. (Orgs.). *Patrimônio cultural*. 1. ed. Rio de Janeiro; Brasília: IPHAN/DAF/Copedoc, [s.n.], 2015.
- POLLAK, P. *Memória e identidade social*. *Estudos Históricos*, Rio de Janeiro, v. 5, n. 10, p. 200–212, 1992.
- PORTO, A. F.; MARTÍN, O. S.; GUTIERREZ, J. M. *Análisis de imágenes digitales con DStretch como soporte a la restauración virtual de una pintura mural histórica en San Cristóbal de la Laguna*. *II Colloquium Investigations in Heritage Conservation*, Lisboa, Portugal, p. 34–49, jul. 2020.
- QUINTERO, M. S. *Antecedentes, rol y desafío de la digitalización del patrimonio arquitectónico*. *Estoa: Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, Cuenca, v. 3, p. 7–21, 2013.
- RAPOSO, L. *Os museus e o mundo virtual: amigos ou inimigos?* *patrimonio.pt*, 26 fev. 2018. Disponível em: <https://www.patrimonio.pt/post/2018/02/26/os-museus-e-o-mundo-virtual-amigos-ou-inimigos>. Acesso em: 12 jul. 2020.
- ROBLES, L. G.; GARCÍA, V. Q.; RUIZ, J. A. F. *El patrimonio "intangible"*. *Infografía para preservar la memoria del pasado*. *Arqueoweb: Revista sobre Arqueología na Internet*, v. 12, 2010. ISSN-e 1139-9201. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3101297>. Acesso em: 14 jul. 2020.
- ROCHA, G. et al. *A Scan-to-BIM methodology applied to heritage buildings*. MDPI, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/journal/heritage>. Acesso em: 21 abr. 2021.
- RODRIGUES-MORENO, J. F. et al. *Da nuvem de pontos ao BIM: um fluxo de trabalho integrado para documentação, pesquisa e modelagem de patrimônio arquitetônico*. *Survey Review*, 2016. DOI: 10.1080/00396265.2016.12597.
- RODRIGUES, M. *Introdução ao geoprocessamento*. In: *Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento*. São Paulo: Curso Introductório, EPUSP, 1990. p. 1–26.
- SANTAELLA, L. et al. *Desvelando a Internet das Coisas*. *Revista GEMInIS*, v. 4, n. 2, p. 19–32, 2013.

SANTOS, M. S. D. *Imprensa da Universidade de Coimbra*. Annablume, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.14195/978-989-26-1135-8>. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10316.2/38339>>. Acesso em: 5 jan. 2021.

SOUZA, R. C. J. D. *A arquitetura em Belo Horizonte nas décadas de 40 e 50: utopia e transgressão*. In: CASTRIOTA; BARCI, L. *Arquitetura da modernidade*. Belo Horizonte: UFMG, 1998. p. 183–230.

SPBIM. *O que é LOD*. [spbim.com.br](http://spbim.com.br), 2020. Disponível em: <<https://spbim.com.br/o-que-e-lod/>>. Acesso em: 22 abr. 2021.

STARLING, O. A. D. S. S. *Igrejinha da Pampulha: descritivo histórico das intervenções e estado de conservação atual*. 2018. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) – Universidade Federal de Minas Gerais, PAPCS UFMG, Belo Horizonte. p. 162.

SYLVIA, B. Apresentação. In: OLIVEIRA, M. M. *A documentação como ferramenta de preservação da memória*. Brasília, DF: IPHAN / Programa Monumenta, 2008. p. 7.

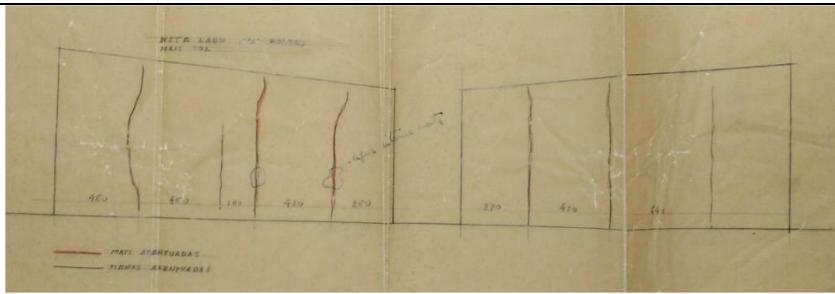

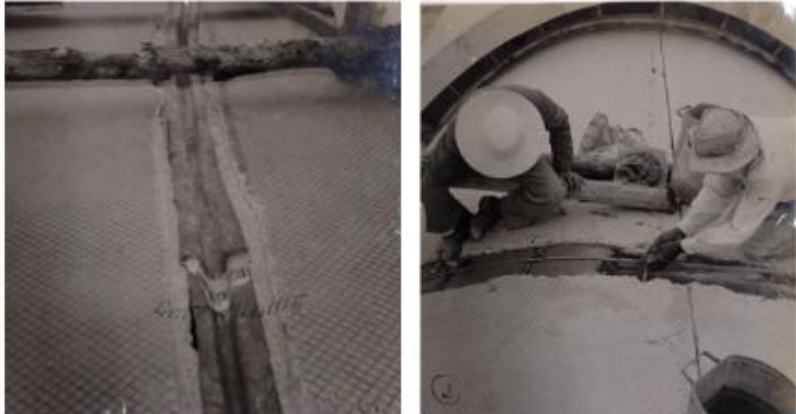
TOLENTINO, M. M. A. *A utilização do HBIM na documentação, na gestão e na preservação do patrimônio arquitetônico*. 2018. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Arquitetura, Salvador.  
UNESCO. *Programme MOW*. [en.unesco.org](http://en.unesco.org), 2015. Disponível em: <<https://en.unesco.org/programme/mow/recommendation-documentary-heritage>>. Acesso em: 7 jul. 2020.

VISUAL-LAB. *Morfologia matemática em análise de imagens*. [visual.ic.uff.br](http://visual.ic.uff.br), 2021. Disponível em: <<http://visual.ic.uff.br/morphology/index.html>>. Acesso em: 15 mar. 2021.


WAGNER, R. *A invenção da cultura*. São Paulo: Cosac Naify, 2010.

## ANEXOS

**Anexo A – Fichas do histórico de intervenções na igrejainha da Pampulha  
1954-2018**


Ficha de documentação do histórico de patologias e intervenções na igreja são Francisco de Assis - PAMPULHA	
Data: 1954 - 1957	
Descrição das patologias	Dilatação e aberturas de fendas de forma irregular
Documentação das patologias	 <p>Fonte: Arquivo Central IPHAN/RJ apud (STARLING, 2018)</p>  <p>Fonte: IPHAN, 1955, p. 97-98 apud (STARLING, 2018)</p>
Tratamento:	 <p>Fonte: Arquivo Central do IPHAN/RJ apud (STARLING, 2018)</p>
Tratamento	Tratamento das juntas e instalação de calhas soltas da estrutura de concreto

descrição	
Fonte das informações:	(STARLING, 2018, p. 30-34)

<b>Ficha de documentação do histórico de patologias e intervenções na igreja são Francisco de Assis - PAMPULHA</b>	
Data: 1980 -1982	
descrição	Dilatação estrutural - infiltração de águas pluviais através de calhas e juntas de dilatação
Documentação das patologias	 <p>Fonte: Centro de documentação e informação do IPHAN/MG apud (STARLING, 2018)</p>
Tratamento	-não foram localizadas imagens
Tratamento 1982 descrição	<ul style="list-style-type: none"> <li>.enchimento das juntas de dilatação com mastique elástico</li> <li>.impermeabilização da abóboda em toda a extensão da nave</li> <li>.substituição das pastilhas faltantes por cimento colorido riscado em forma de pastilha</li> <li>.substituição das partes danificadas do forro interno</li> </ul>
Fonte das informações:	(STARLING, 2018, p. 37-39)

<b>Ficha de documentação do histórico de patologias e intervenções na igreja são Francisco de Assis - PAMPULHA</b>	
Data: 1984-1992	
Descrição das patologias	.Pastilhas deslocadas na junta de dilatação .Infiltrações
Documentação das patologias 1984	 <p>Fonte: Centro de documentação e informação do IPHAN/MG apud (STARLING, 2018)</p>
Tratamento das patologias 1990-1992	 <p>Fonte: Centro de documentação e informação do IPHAN/MG apud (STARLING, 2018)</p>  <p>Fonte: Centro de documentação e informação do IPHAN/MG apud (STARLING, 2018)</p>  <p>Fonte: Centro de documentação e informação do IPHAN/MG apud (STARLING, 2018)</p>
Tratamento das patologias 1990-1992	.processo de impermeabilização externo .impermeabilização da marquise .aterramento da parede atrás do afresco de

descrição	Portinari .tratamento das juntas de dilatação . instalação de micro calhas sob as pastilhas
Fonte das informações:	(STARLING, 2018, p. 39-44)

<b>Ficha de documentação do histórico de patologias e intervenções na igreja são Francisco de Assis - PAMPULHA</b>	
Data: 1993	
Descrição das patologias 1993	Aparecimento de fissuras após restauração de 1992.
Documentação das patologias 1993	 <p>Fonte: IPHAN/MG apud (STARLING, 2018)</p>
Fonte das informações:	(STARLING, 2018, p. 46)

<b>Ficha de documentação do histórico de patologias e monitoramento na igreja são Francisco de Assis - PAMPULHA</b>	
Data: 2002	
1-Descrição monitoramento 2002	Possíveis problemas estruturais
Escavação do poço de inspeção para pesquisa da fundação	 <p>Fonte: IPHAN/MG apud (STARLING, 2018)</p>

Conclusões e resultados sobre a fundação	Não há problemas de fundação
2- Descrição monitoramento 2002	avaliação a deformação da estrutura sobre quanto as variações térmicas
Monitoramento por Extensômetria Eletrônica	 <p>Fonte: IPHAN/MG apud (STARLING, 2018)</p>
resultados sobre a deformação estrutural: Concentração de tensão no primeiro módulo	 <p>Fonte: AGUIAR; MORAES, 2005, p.9. apud (STARLING, 2018)</p>
Conclusões e resultados sobre a deformação estrutura	.Retirada de todos os materiais aplicados na reforma concluída em 1992 . abertura da terceira junta de dilatação,
Fonte das informações:	(STARLING, 2018, p. 46-50)

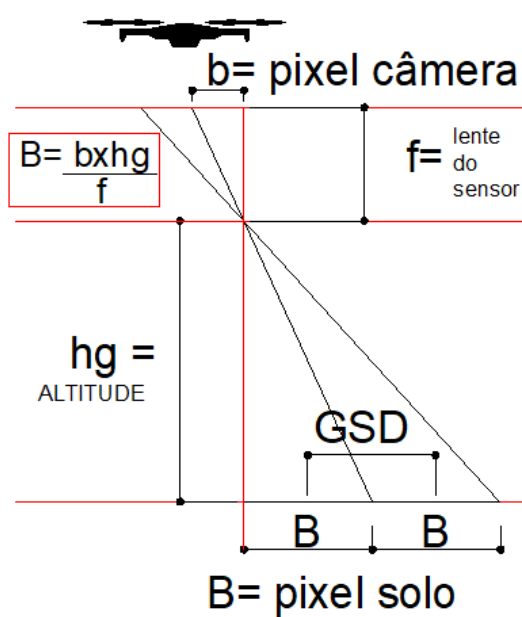
<b>Ficha de documentação do histórico de patologias e intervenções na igreja são Francisco de Assis - PAMPULHA</b>	
Data: 2004-2005	
Descrição das patologias 2004-2005	infiltrações Juntas de dilatação desalinhadas Sob o revestimento foram encontrados dois sulcos de 3 cm de

	largura e 5 cm de profundidade, entre o coro e a 2ª junta, com início na altura do mosaico e terminando na parte superior da casca, apenas de um dos lados – Noroeste
Documentação das patologias 2004-2005	 <p>AGUIAR; MORAES, 2005, p. 25-26 apud (STARLING, 2018)</p>
Documentação e projeto de tratamento das patologias 2004-2005	 <p>Fonte: Memorial da Arquidiocese de Belo Horizonte apud (STARLING, 2018)</p>
Tratamento das patologias 2004-2005 descrição	<p>Mapeamento e retirada total das pastilhas</p> <p>Tratamento das juntas de dilatação - remoção das calhas metálicas instaladas em 1990</p> <p>Instalação da 3ª junta de dilatação</p> <p>Instalação de camada em tela de aço</p> <p>Impermeabilização</p>
Problemas na execução: Corte das pastilhas com “Serra Mármore” ocasionando quebras e desprendimentos	 <p>Fonte: AGUIAR; MORAES, 2005, p. 60 – 61 apud (STARLING, 2018)</p>
Fonte das informações:	(STARLING, 2018, p. 55-65)

<b>Ficha de documentação do histórico de patologias e intervenções na igreja são Francisco de Assis - PAMPULHA</b>	
Data: 2014-2018	
Descrição das patologias 2014-2019	Infiltrações através das juntas de dilatação Destacamento do reboco na marquise principal Juntas de dilatação desalinhadas
Documentação das patologias 2014-2018	 <p>Fonte: Memorial da Arquidiocese de Belo Horizonte apud (STARLING, 2018)</p>
Fonte das informações:	(STARLING, 2018, p. 55-65)

## Anexo B – Relação da distância focal e a lente de captura

Segundo Grahan e Koh (2002, p. 164), para capturar imagens com uma precisão desejada no levantamento aéreo, é necessário fazer uma relação da distância focal e a lente de captura, utilizando a regra da geometria de semelhança de triângulos onde a base maior é igual a base menor vezes a altura do triângulo maior dividido pela altura do triângulo menor  $B = bxhg/f$ , onde B é o GSD, b é o píxel da câmera, hg a altitude do voo e f a lente do sensor conforme a figura



Fonte: Elaborado pelo autor