

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**

Escola de Arquitetura

Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e  
Produtos

Andresa Ludiana Cardoso

**USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO PROCESSO DE DETECÇÃO DE  
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE EDIFICAÇÕES**

**Estudo de Caso em Edificação do Patrimônio Histórico: Igreja São Tomé (MG)**

Belo Horizonte

2025

Andresa Ludiana Cardoso

**USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO PROCESSO DE DETECÇÃO DE  
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE EDIFICAÇÕES**  
**Estudo de Caso em Edificação do Patrimônio Histórico: Igreja São Tomé (MG)**

Monografia de Especialização apresentada ao programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito à obtenção do título de Especialista.

Área de concentração: Sustentabilidade

Orientadores: Eduardo Cabaleiro Cortizo

Felipe de Souza Abreu


Belo Horizonte

2025

**ATA DA REUNIÃO DA COMISSÃO EXAMINADORA DE TRABALHO DE MONOGRAFIA DA ALUNA ANDRESA LUDIANA CARDOSO COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO CERTIFICADO DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM CONFORTO AMBIENTAL, EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E TECNOLOGIAS CONSTRUTIVAS SUSTENTÁVEIS.**


Às 09:00hs. do dia 05 de junho de 2025, reuniu-se remotamente, por meio da plataforma Google-meet, a Comissão Examinadora composta pelo Prof. Felipe de Souza Abreu - Orientador-Presidente, pela Profa. Dra. Cynara Fiedler Bremer e Prof. Géferson Diogo de Oliveira, como membros titulares, designada pela Comissão Coordenadora do Curso de Especialização em Conforto Ambiental, Eficiência Energética e Tecnologias Construtivas Sustentáveis, para avaliação da monografia intitulada “DETECÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM UMA EDIFICAÇÃO DE PATRIMÔNIO HISTÓRICO COM O USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL” de autoria da aluna **Andresa Ludiana Cardoso**, como requisito final para obtenção do Certificado de Especialista em Conforto Ambiental, Eficiência Energética e Tecnologias Construtivas Sustentáveis. A citada Comissão examinou o trabalho e, por unanimidade, concluiu que a monografia atende às exigências para a obtenção do Certificado de Conclusão do Curso, atribuindo ao trabalho o conceito A / nota 95. A Comissão recomenda que seja encaminhado 01 (um) exemplar digital ao Repositório da UFMG, após as correções sugeridas pela banca com o prazo máximo de 30 dias.

Belo Horizonte, 05 de junho de 2025.

Documento assinado digitalmente  
 FELIPE DE SOUZA ABREU  
Data: 21/07/2025 09:30:00-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Professor Dr. Felipe de Souza Abreu**  
Orientador-Presidente

  
**Professora Dra. Cynara Fiedler Bremer**  
Membro Titular

Documento assinado digitalmente  
 GEFERSON DIOGO DE OLIVEIRA  
Data: 19/07/2025 07:39:31-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Professor Dr. Géferson Diogo de Oliveira**  
Membro Titular

À Deus, à vida, ao universo e a tudo que possa existir além desta singela e grandiosa experiência humana, por ter me permitido vivenciar todos os momentos até aqui - em especial este. À saúde que me acompanha, e à todas as pessoas incríveis que sempre encontrei pelos caminhos percorridos e que me ajudaram em cada momento, com trocas, palavras ou experiências, ampliando um pouco minha visão e meu mundo e me transformando.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço imensamente aos meus orientadores. Ao Eduardo Cabaleiro Cortizo pela disposição inicial em me orientar, por todo o seu bom humor e dedicação ao ofício do ensino, mesmo com todas as adversidades que a vida lhe apresentou; E essencialmente ao Felipe de Souza Abreu, que se dedicou incansavelmente a me apoiar na construção deste trabalho e não mediu esforços para me amparar sempre que precisei ao longo deste percurso. Um agradecimento ao Depto. TAU-UFMG, em especial a Marco Antônio Penido de Rezende, Ana Maria Dias Moutinho da Silva e Camila Carvalho Ferreira, que se dispuseram a me ajudar sempre que os procurei. E aos professores que participaram de minha banca, Cynara Fiedler e Diogo de Oliveira, pelo tempo dedicado à leitura e por todas as considerações que foram essenciais para o aprimoramento deste trabalho.

Aos meus amigos e colegas do curso de especialização, em especial, à grande amiga que a pós me apresentou, Thaianne Machado, que tanto me ajudou em Belo Horizonte, junto ao Renato C. Fonseca, seu esposo. Serei eternamente grata a vocês e estarei sempre aqui para ajudar no que eu puder.

Aos meus colegas de trabalho pela compreensão comigo durante este período. Em especial os amigos que eu fui presenteada desde o primeiro momento, Amanda Cardoso, Gustavo Medeiros e Érika Yukie. Ao meu namorado também.

Aos queridos Padre Robson Leite, Edson Oliveira (junto à Josiane Cardoso), do Departamento de Cultura e Patrimônio do município de São Tomé das Letras e meu amigo, Israel Silva, meus conterrâneos, que apoiaram no acesso à igreja - mesmo fechada para reforma, no levantamento das informações e na disponibilização de parte do material que contribuiu para a elaboração deste trabalho, bem como a todos os responsáveis técnicos do Atlantes Ateliê de Restauro e Patrimônio, pela pesquisa e todo o levantamento minucioso e detalhado que fizeram para o Projeto de Restauro da Igreja em 2019 e que contribuiu também para este trabalho.

Aos meus pais, que mesmo não tendo as oportunidades que tive (e tenho) de estudar, sempre me apoiaram e me incentivaram a ir além. E a toda a minha família e meus amigos pelo apoio e amor incondicional de sempre. Amo todos vocês.

*“Agora que estamos descobrindo o sentido de nossa presença no planeta, pode-se dizer que uma história universal verdadeiramente humana está, finalmente, começando. A mesma materialidade, atualmente utilizada para construir um mundo confuso e perverso, pode vir a ser uma condição da construção de um mundo mais humano. Basta que se completem as duas grandes mutações ora em gestação: a mutação tecnológica e a mutação filosófica da espécie humana. ”*

**MILTON SANTOS. Por uma outra globalização, 2000.**

## RESUMO

A preservação do patrimônio histórico é fundamental para a conservação da identidade cultural de uma sociedade. No entanto, as edificações históricas enfrentam sérios desafios de conservação devido à ação do tempo, ausência de manutenção e limitações nos métodos tradicionais de diagnóstico. Neste contexto, esta monografia propõe o uso de inteligência artificial (IA) como ferramenta complementar na detecção de manifestações patológicas em edificações históricas. O estudo de caso foi realizado na Igreja Matriz de São Tomé, tombada pelo IEPHA-MG, localizada em São Tomé das Letras (MG), aplicando técnicas não destrutivas como inspeção visual, mapeamento por imagens de forma convencional e com termografia infravermelha. Posteriormente, foi utilizado o *Microsoft Custom Vision*®, uma ferramenta de visão computacional baseada em aprendizado de máquina, para treinar modelos que reconhecessem automaticamente manifestações patológicas, com foco em descascamento de pintura. Três modelos foram desenvolvidos com bancos de dados distintos e avaliados por métricas de desempenho como precisão, *recall* e *mAP*. Os resultados obtidos demonstraram limitações nos indicadores de desempenho, mas indicaram potencial para uso complementar em inspeções prediais. O trabalho destaca a importância de abordagens integradas e multidisciplinares, combinando métodos tradicionais e novas tecnologias para otimizar o diagnóstico, reduzir subjetividades e contribuir para a conservação sustentável do patrimônio histórico.

**Palavras-chave:** Patrimônio histórico. Patologia das construções. Termografia. Inteligência artificial. Aprendizado de máquina. Visão computacional.

## ABSTRACT

The preservation of historical heritage is essential for maintaining a society's cultural identity. However, historical buildings face significant conservation challenges due to aging, lack of maintenance, and limitations in traditional diagnostic methods. In this context, this monograph proposes the use of artificial intelligence (AI) as a complementary tool for detecting pathological manifestations in historical buildings. The case study was conducted on the Igreja Matriz de São Tomé, listed by IEPHA-MG and located in São Tomé das Letras (MG), applying non-destructive techniques such as visual inspection, conventional imaging, and infrared thermography. Subsequently, Microsoft Custom Vision®, a computer vision tool based on machine learning, was used to train models for the automatic recognition of pathological manifestations, with a focus on paint peeling. Three models were developed with different image datasets and evaluated using performance metrics such as precision, recall, and mAP. The results showed limitations in performance, but indicated potential for use as a complementary tool in building inspections. This work emphasizes the importance of integrated and multidisciplinary approaches, combining traditional methods and new technologies to optimize diagnostics, reduce subjectivity, and support the sustainable conservation of historical heritage.

**Keywords:** Historical heritage. Building pathology. Thermography. Artificial intelligence. Machine learning. Computer vision.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Manifestações patológicas em igrejas de Ouro Preto (MG) .....	19
<b>Figura 2</b> – Ilustração do Código de Hamurabi .....	21
<b>Figura 3</b> – Livro “ <i>De Architectura</i> ” .....	22
<b>Figura 4</b> – Organograma dos tipos de inspeção em uma edificação .....	27
<b>Figura 5</b> – Termograma e foto, Igreja S. Francisco de Assis, Belo Horizonte (MG) .	36
<b>Figura 6</b> – Mapa de danos, Igreja de N. S. do Rosário dos Homens Pretos, Olinda (PE) .....	37
<b>Figura 7</b> – FID - Igreja N.S. do Rosário dos Homens Pretos, Olinda (PE) .....	37
<b>Figura 8</b> – Categorização do Aprendizado de Máquina .....	44
<b>Figura 9</b> – Construção de Rede Neural Convolutiva e subconjuntos .....	47
<b>Figura 10</b> – Inteligência Artificial e seus subconjuntos .....	48
<b>Figura 11</b> – Fluxograma do <i>Custom Vision</i> .....	52
<b>Figura 12</b> – Metodologia seguida no estudo de caso .....	56
<b>Figura 13</b> – Igreja Matriz de São Tomé da Letras, Minas Gerais, Brasil .....	57
<b>Figura 14</b> – Localização do estudo de caso .....	58
<b>Figura 15</b> – Pinturas rupestres encontradas na Gruta São Tomé .....	60
<b>Figura 16</b> – Imagem aérea com foco na igreja matriz e demais pontos turísticos ....	61
<b>Figura 17</b> – Detalhe da pintura de Facchinetti retratando o povoado de São Tomé.	63
<b>Figura 18</b> – Detalhes de intervenções na igreja .....	64
<b>Figura 19</b> – Planta baixa da Igreja .....	64
<b>Figura 20</b> – Nomenclaturas e localizações das partes constituintes de igrejas .....	65
<b>Figura 21</b> – Manifestações patológicas presentes no interior da igreja .....	70
<b>Figura 22</b> – Anomalias e sujidades na fachada lateral direita da igreja .....	71
<b>Figura 23</b> – Detalhe das manchas, mofo e vegetação no frontispício. ....	72
<b>Figura 24</b> – Detalhe das sujidades, destacamento e bolhas na pintura. ....	72
<b>Figura 25</b> – Sujidade, umidade, irregularidades e vegetação na fachada frontal ....	73
<b>Figura 26</b> – Vidro quebrado e descascamento da pintura na fachada lateral .....	74
<b>Figura 27</b> – Mancha de sujidade na fachada lateral esquerda .....	75
<b>Figura 28</b> – Manchas de umidade e irregularidades na fachada lateral esquerda ...	76
<b>Figura 29</b> – FID da Fachada Frontal - Igreja São Tomé .....	78
<b>Figura 30</b> – Mapa de danos da fachada frontal - Igreja São Tomé .....	79
<b>Figura 31</b> – Detalhe com ampliação dos danos mapeados .....	80

<b>Figura 32</b> – Manifestações patológicas identificadas .....	81
<b>Figura 33</b> – Acesso à conta da Azure.....	84
<b>Figura 34</b> – Escolha do tipo de conta .....	84
<b>Figura 35</b> – Acesso ao Microsoft Custom Vision .....	85
<b>Figura 36</b> – Escolha do modelo para criação .....	86
<b>Figura 37</b> – Adição das imagens selecionadas para o modelo.....	87
<b>Figura 38</b> – Pré-seleção das manifestações patológicas para treinamento .....	87
<b>Figura 39</b> – Treinamento do modelo.....	88
<b>Figura 40</b> – Teste do modelo com novas imagens para identificação .....	89
<b>Figura 41</b> – Indicadores de desempenho do <i>Custom Vision</i> no Modelo 1.....	90
<b>Figura 42</b> – Indicadores de desempenho do Custom Vision no Modelo 2.....	91
<b>Figura 43</b> – Indicadores de desempenho do Custom Vision no Modelo 3.....	91

## LISTA DE QUADROS, TABELAS E GRÁFICOS

<b>Quadro 1</b> – Definições e nomenclaturas no estudo de patologia das construções ..	24
<b>Quadro 2</b> – Equipamentos utilizados no estudo .....	68
<b>Tabela 1</b> – Tipos de mecanismos de deterioração nas construções .....	28
<b>Tabela 2</b> – Classificação dos agentes causadores de manifestações patológicas ...	29
<b>Tabela 3</b> – Principais formas de intervenção terapêutica de edificações.....	30
<b>Tabela 4</b> – Tipos de manutenção em edificações.....	31
<b>Tabela 5</b> – Vida Útil de Projeto .....	33
<b>Tabela 6</b> – Linha do tempo da termografia infravermelha.....	38
<b>Tabela 7</b> – Principais abordagens da termografia.....	39
<b>Tabela 8</b> - Principais Marcos da História da Inteligência Artificial .....	42
<b>Tabela 9</b> – Relação entre <i>AI</i> , <i>ML</i> , <i>DL</i> e <i>Gen AI</i> .....	43
<b>Tabela 10</b> – Aplicações de IA no diagnóstico de manifestações patológicas em edificações .....	50
<b>Tabela 11</b> – Linha do tempo da Igreja São Tomé .....	66
<b>Tabela 12</b> – Características da visita à Igreja .....	81
<b>Tabela 13</b> – Comparação dos indicadores de desempenho.....	92
<b>Gráfico 1</b> – Lei de Sitter.....	31
<b>Gráfico 2</b> – Tipos de manutenção versus resultados obtidos .....	32
<b>Gráfico 3</b> – Desempenho ao longo do tempo .....	33

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- CAD** – Computer Aided-Design
- CNN** - Convolutional Neural Network (Rede Neural Convolucional)
- DL** - Deep Learning (Aprendizado Profundo)
- FID** - Ficha de Inspeção de Danos
- FLIR** - Forward Looking Infrared
- IA** - Inteligência Artificial
- IBM** - International Business Machines
- IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- ICOMOS** - International Council on Monuments and Sites
- IEPHA** - Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico
- IPHAN** - Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
- LLM** - Large Language Model (Modelo de Linguagem de Grande Escala)
- mAP** - mean Average Precision (Média da Precisão Média)
- MG** - Minas Gerais
- ML** - Machine Learning (Aprendizado de Máquina)
- NBR** - Norma Brasileira Regulamentadora
- NDT** - Non-Destructive Testing (Ensaio Não Destrutivo)
- PLN** - Processamento de Linguagem Natural
- PMSTL** - Prefeitura Municipal de São Tomé das Letras
- TAU** – Departamento de Tecnologia do Design, da Arquitetura e Urbanismo
- UFMG** - Universidade Federal de Minas Gerais
- UNESCO** - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
- VU** - Vida Útil
- VUP** - Vida Útil de Projeto

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
1.1	Objetivo Geral	16
1.2	Objetivos Específicos	16
1.3	Justificativa	17
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>18</b>
2.1	Patrimônio Histórico	18
2.2	Patologia na Construção Civil	21
2.2.1	Histórico e Definição	21
2.2.2	Conceituação	23
2.3	Terminologia Essencial	25
2.3.1	Profilaxia	25
2.3.2	Sintomatologia	26
2.3.3	Diagnóstico	26
2.3.3.1	Inspeção	26
2.3.3.2	Mecanismo	27
2.3.3.3	Origem	28
2.3.3.4	Agentes Causadores	28
2.3.4	Prognóstico	29
2.3.5	Terapia	29
2.3.6	Manutenção das Edificações	30
2.3.7	Vida útil	32
2.4	Problemas Patológicos em Edificações Históricas	34
2.4.1	Métodos Tradicionais de Diagnóstico de Patologia	35
2.4.2	Inspeção Predial e Mapa de Danos	36
2.4.3	Diagnóstico com Termografia de Infravermelho	38
2.5	Inteligência Artificial (IA)	40
2.5.1	Conceitos introdutórios e Contexto Histórico da IA	40
2.5.2	Inteligência Artificial e Subconjuntos	43
2.5.2.1	Aprendizado de Máquina	44
2.5.2.2	Aprendizado Profundo	45
2.5.2.3	Redes Neurais Convolucionais	47
2.5.2.4	Visão Computacional	48
2.5.2.5	Aplicações da Inteligência Artificial em Patologia das Edificações	49
2.5.2.6	Inspeção automatizada das imagens	51
2.5.3	Treinamento e Avaliação de Modelos de <i>ML</i> e Subconjuntos	52
2.5.3.1	<i>Overfitting</i>	53
2.5.3.2	<i>Underfitting</i>	53
2.5.4	Métricas de Avaliação de Desempenho de Modelos de <i>ML</i>	53
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>55</b>
3.1	Procedimentos Metodológicos	55

3.1	Apresentação do Objeto em Estudo .....	57
3.1.1	Importância Histórica e Caracterização do Local .....	59
3.1.2	Descrição da Igreja .....	62
3.2	Estudo de Caso .....	67
3.2.1	Caracterização das tecnologias utilizadas na aquisição de dados.....	67
3.2.2	Desenvolvimento do Trabalho de Campo .....	68
3.2.3	Análise dos danos e Diagnóstico de forma convencional .....	70
3.2.3.1	Inspeção das fachadas.....	71
3.2	Análise dos Danos com IA.....	80
3.5.1	Aquisição de imagens .....	80
3.3	Elaboração do Projeto e Testes utilizando IA .....	83
3.4	Resultados da etapa de desenvolvimento do modelo.....	89
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>94</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>95</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O patrimônio histórico e cultural representa a memória coletiva de uma sociedade, manifestando-se por meio de edificações, saberes, tradições e práticas que compõem sua identidade. As construções históricas, em especial, guardam não apenas valor arquitetônico e estético, mas também testemunhos de técnicas construtivas e modos de vida de diferentes épocas. No entanto, essas edificações estão frequentemente sujeitas a processos de degradação, causados por fatores ambientais, ausência de manutenção preventiva e intervenções inadequadas. Neste contexto, a importância da preservação do patrimônio edificado pode ser compreendida historicamente, como destacam IPHAN e UNESCO (2004):

“A valorização da obra edificada, como testemunho da história da arte e das técnicas construtivas, remonta à Grécia e à Roma Antiga. [...] entretanto, somente a partir do Renascimento, surge o interesse pela conservação dos monumentos da Antiguidade. Ao final do século 18, com a Revolução Industrial, amadurecem os conceitos modernos de preservação histórica; e no Brasil, no começo deste mesmo século, começa a saga de conquista do interior do país. [...] Mas a preservação, enquanto procedimento legal, surge apenas em 1936, com a criação do Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional – SPHAN, e, em 1937, com o Decreto-Lei nº 25, onde se apoia até hoje a proteção do Patrimônio Cultural brasileiro.”

A patologia das construções é a área do conhecimento que estuda as origens, mecanismos e manifestações de falhas em elementos construtivos, visando à identificação das causas, ao diagnóstico técnico e à proposição de intervenções corretivas e preventivas (SOUZA; RIPPER, 1998; BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019). Embora os métodos tradicionais, como a inspeção visual e a termografia infravermelha, sejam amplamente utilizados, eles apresentam limitações quanto à subjetividade das análises, à dependência da experiência do profissional e ao tempo necessário para coleta e interpretação dos dados.

Nesse cenário, as tecnologias emergentes oferecem alternativas promissoras. Entre elas, destaca-se a inteligência artificial (IA), cujos avanços no campo da visão computacional e do aprendizado de máquina têm possibilitado o desenvolvimento de sistemas capazes de identificar padrões em imagens com elevado grau de precisão.

A aplicação da IA no diagnóstico de manifestações patológicas representa uma inovação que pode complementar os métodos convencionais, reduzindo tempo de análise, otimizando recursos e fortalecendo a conservação preventiva.

## 1.1 Objetivo Geral

Este trabalho propõe avaliar a aplicabilidade da visão computacional, por meio do uso da ferramenta *Microsoft Custom Vision*®, no reconhecimento automatizado de manifestações patológicas em uma edificação tombada. O estudo de caso foi realizado na Igreja Matriz de São Tomé, localizada em São Tomé das Letras (MG), combinando técnicas não destrutivas de inspeção com modelos treinados de IA, a fim de verificar o potencial dessa integração para agilizar e apoiar o diagnóstico técnico e a preservação de bens históricos.

## 1.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos têm-se:

1. Analisar as bases teóricas e conceituais do patrimônio histórico, patologia das edificações, inteligência artificial, aprendizado de máquina e visão computacional.
2. Identificar e registrar manifestações patológicas em uma edificação tombada por meio de inspeção visual e termografia infravermelha;
3. Sistematizar as manifestações observadas por meio da Ficha de Inspeção de Danos (FID) e do mapa de danos;
4. Construir e treinar modelos no *Microsoft Custom Vision*® com base em imagens obtidas no estudo de caso e em bases complementares;
5. Avaliar o desempenho dos modelos quanto à precisão e ao reconhecimento de manifestações patológicas;
6. Analisar os limites e potencialidades do uso da inteligência artificial como ferramenta auxiliar no diagnóstico e preservação de edificações do patrimônio histórico.

### 1.3 Justificativa

Edificações históricas frequentemente apresentam manifestações patológicas que comprometem sua conservação e uso adequado. Embora métodos convencionais, como a inspeção visual e a termografia, sejam amplamente utilizados para diagnóstico, esses procedimentos demandam tempo, dependem da experiência do avaliador e podem sofrer com subjetividades na interpretação.

Diante disso, o uso de ferramentas baseadas em inteligência artificial, como o *Microsoft Custom Vision*®, apresenta-se como uma alternativa viável para apoiar diagnósticos técnicos, proporcionando maior agilidade e padronização nas análises. Essa abordagem pode ser particularmente útil em contextos onde há limitação de tempo, equipe ou recursos especializados, como frequentemente ocorre na gestão do patrimônio histórico.

A proposta deste trabalho se justifica pela necessidade de incorporar soluções tecnológicas acessíveis e replicáveis que possam complementar os métodos tradicionais de diagnóstico. Ao avaliar a viabilidade da aplicação de IA no reconhecimento automatizado de manifestações patológicas, pretende-se contribuir para o desenvolvimento de estratégias sustentáveis de conservação preventiva, otimizando a tomada de decisão e fortalecendo a proteção de bens históricos e culturais.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica que sustenta esta pesquisa, abordando os principais conceitos relacionados ao patrimônio histórico, à patologia das edificações e às tecnologias aplicadas ao diagnóstico de manifestações patológicas.

### 2.1 Patrimônio Histórico

O patrimônio histórico-cultural representa um conjunto de bens materiais e imateriais, que simbolizam a identidade, memória e valores culturais de diferentes sociedades ao longo da história. Segundo a Convenção da UNESCO de 1972 intitulada "Convenção para a Proteção do Patrimônio Mundial, Cultural e Natural", o patrimônio cultural abrange monumentos, conjuntos arquitetônicos e sítios que possuem um valor universal excepcional, seja histórico, artístico, científico, estético ou antropológico (UNESCO, 1972).

No Brasil, a Constituição Federal de 1988 reforça essa importância, definindo o patrimônio cultural como bens que são referência à identidade e memória coletiva da sociedade brasileira, abrangendo expressões culturais, modos de vida, criações científicas e artísticas, além de objetos, documentos e edificações históricas e assegura a sua proteção em seu artigo 216, reconhecendo sua importância para garantir a memória e a identidade da sociedade (BRASIL, 1988).

O patrimônio esteve por muito tempo ausente do debate dominante sobre desenvolvimento sustentável, apesar de sua importância crucial para as sociedades e do amplo reconhecimento de seu grande potencial para contribuir com objetivos sociais, econômicos e ambientais (UNESCO, [s.d.], tradução nossa).

Destaca-se a necessidade de refletir sobre a relação entre cultura, planejamento urbano e sustentabilidade, principalmente diante dos desafios enfrentados pelos bens históricos para sua conservação e manutenção (UNESCO, 2015; CASTRIOTA; 2009).

A degradação estrutural das edificações representa uma grande questão, podendo ser resultado de diversos fatores, como envelhecimento natural, escolha inadequada

de materiais ou falhas no planejamento ou execução das obras (SOUZA E RIPPER, 2009).

No caso específico das edificações históricas, manifestações patológicas são recorrentes e comprometem não apenas a parte estética, conforme figura 1, mas também a estrutura, funcionalidade e valor. Além disso, a caracterização dessas estruturas exige um conhecimento detalhado de sua história, projetos e intervenções sofridas ao longo do tempo. (BARBOSA *et al.*, 2010).

**Figura 1** – Manifestações patológicas em igrejas de Ouro Preto (MG)



Fonte: Do autor, 2023.

A Carta Internacional sobre Análise, Conservação e Restauração de Estruturas do Patrimônio Arquitetônico do ICOMOS (2003), recomenda abordagens multidisciplinares que incluam técnicas quantitativas e qualitativas para diagnóstico, ressaltando que as intervenções devem respeitar os valores históricos das edificações e devem sempre estar embasadas por estudos detalhados.

A conservação desse patrimônio enfrenta desafios significativos, especialmente devido à ação do tempo, às manifestações patológicas e à falta de documentação histórica adequada sobre essas construções. BERNARDO (2024), em seu estudo sobre o Edifício Copan, destaca a importância da documentação e monitoramento constante das edificações históricas para prevenir e mitigar problemas patológicos.

Neste contexto, destacam-se as atuações do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), órgão responsável por proteger o patrimônio cultural em âmbito federal, promovendo políticas públicas, tombamentos e ações educativas em bens culturais brasileiros e o Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais (IEPHA-MG) que desempenha papel semelhante em âmbito estadual, com responsabilidade pela identificação, proteção e preservação do patrimônio cultural mineiro, estabelecendo normas e procedimentos para intervenções e conservação de bens tombados. Porém, mesmo com a atuação destes órgãos, vemos uma dificuldade por meio do governo e da sociedade de conseguir manter estes bens funcionais, uma vez que as políticas impostas não buscavam se atualizar à medida em que a sociedade evoluía, deixando estes bens obsoletos, por se tornarem onerosos aos seus proprietários, uma vez que demandavam liberações, aprovações, equipes especializadas e travavam os retornos financeiros por não permitir usos diversos.

Por todas estas limitações, os bens históricos muitas vezes vão se degradando e deteriorando com a ação do tempo, a falta de manutenção e o abandono privado e público, se transformando em ruínas nas mais diversas partes do mundo. Porém, com a inserção do turismo histórico, estes bens, que guardam muitas informações de outras épocas, se tornam relevantes, se transformando em pontos turísticos, sendo importante para isto preservar suas histórias, mantendo-os em boas condições de usabilidade e funcionalidade, para manter também a segurança e saúde de seus usuários e prolongar sua vida útil.

Estes desafios destacam a relevância de ferramentas tecnológicas inovadoras, como técnicas não destrutivas, capazes de identificar manifestações patológicas, permitindo diagnósticos mais precisos e menos invasivos (ROCHA; CARNEIRO; MONTEIRO, 2023). A utilização dessas tecnologias se mostra cada vez mais necessária, como

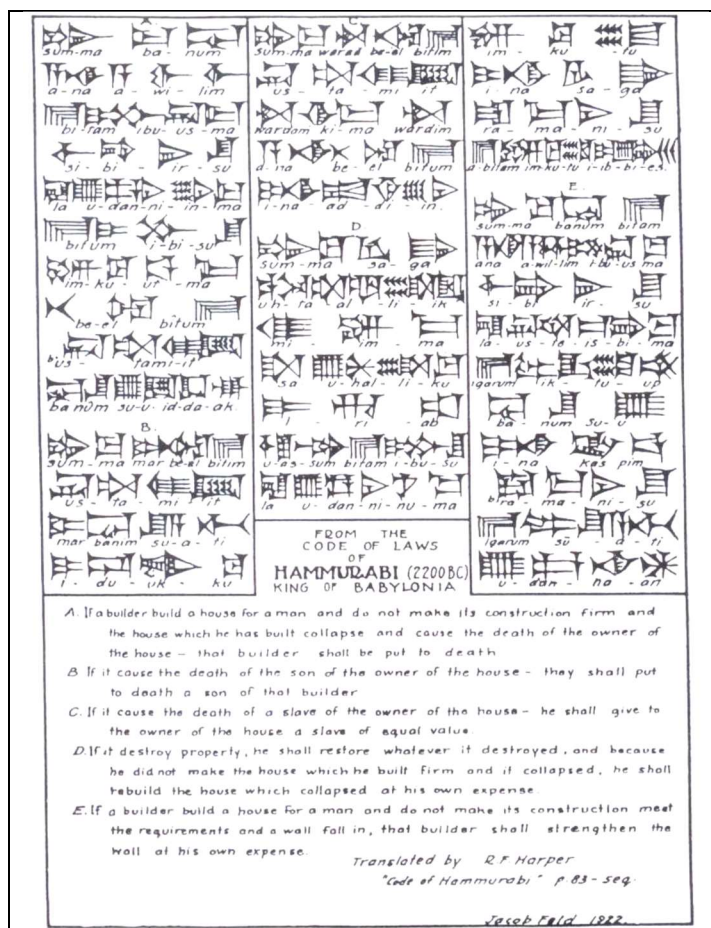
forma de aprimorar o monitoramento, conservação e manutenção dos bens históricos, garantindo sua preservação para as futuras gerações (ROCHA; BREMER; CORTIZO, 2018).

## 2.2 Patologia na Construção Civil

### 2.2.1 Histórico e Definição

O surgimento de problemas nas edificações é relatado pelo homem desde os primórdios das civilizações, tendo aparecido em documentos antigos, como o Código de Hamurabi (cerca 1.700 a.C.) que, conforme citado por ASSUNÇÃO (2006), é uma das mais antigas leis conhecidas de problemas patológicos em construções, subentendendo-se que para tal edição, muitos casos tenham acontecido. A figura 2 apresenta uma ilustração do Código com sua tradução para a língua inglesa.

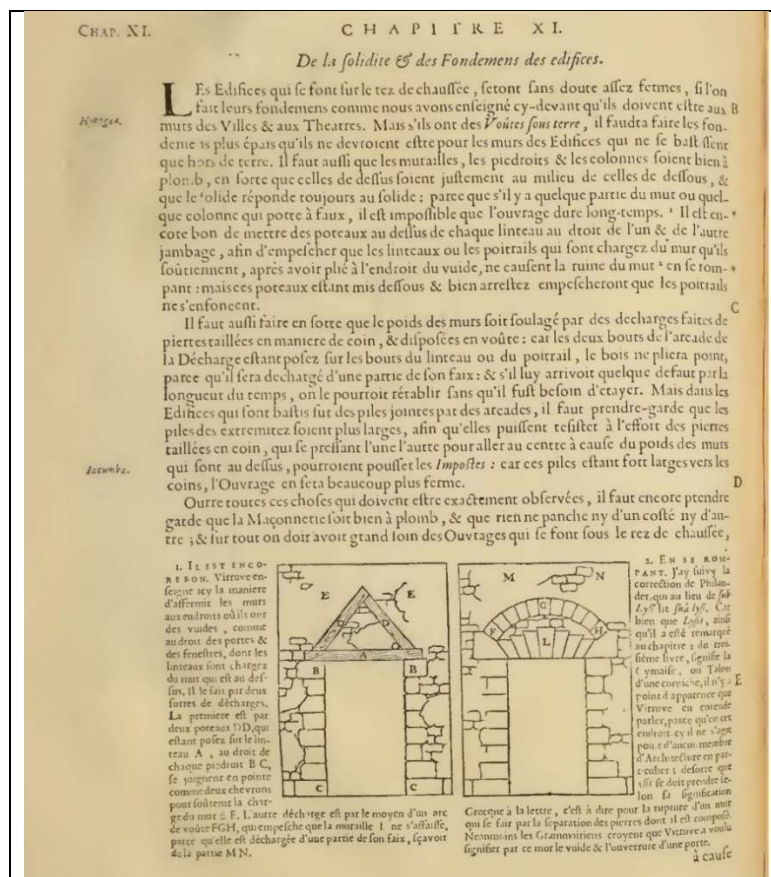
Figura 2 – Ilustração do Código de Hamurabi



Fonte: Adaptado de FELD e CARPER, 1997.

Passando pelo Papiro de Rhind (~1550 a.C.), também chamado de “Manual de Matemática Egípcio” que, embora focado em geometria e aritmética, contém cálculos para inclinação de rampas, medição de terrenos e métodos para divisão de materiais. E ainda, os Manuscritos de Vitruvius (30~15 a.C.), o arquiteto e engenheiro militar romano, Marco Vitruvius Polião que escreveu “*De Architectura*”, com dez volumes versando sobre arquitetura paisagística, arquitetura, engenharia civil, engenharia mecânica e planejamento urbano, descrevendo desde a definição e estudos da arquitetura, aos materiais, templos, espaços públicos, habitações privadas, dos acabamentos, cores e água para abastecimento. (BORGES FILHO, 2005). Onde, de acordo com MANENTI (2023) podemos notar em diversos livros, as recomendações e adaptações necessárias às construções devido a fatores como a natureza do local, seu clima, seu uso e sua aparência. Na figura 3 há uma página do livro de Vitruvius em uma tradução por Claude Perrault, com publicação datada de 1684, onde o autor trata de recomendações necessárias às construções e seus elementos constituintes para a boa duração da obra.

Figura 3 – Livro “*De Architectura*”



Fonte: VITRUVIUS por PERRAULT, 1684.

O termo “patologia”, deriva do grego “*páthos*” (doença) e “*lógos*” (estudo), tendo sua definição de “*Ciência que estuda todos os aspectos da doença, com especial atenção à origem, aos sintomas e ao desenvolvimento das condições orgânicas anormais e suas consequências*” sido cunhada e utilizada na medicina para o estudo das doenças.

A transposição do conceito médico para a engenharia ocorreu à medida em que se reconheceu a necessidade de diagnosticar e tratar falhas de maneira sistemática em edificações. A literatura específica sobre a área começou a se consolidar mais no século XX.

### **2.2.2 Conceituação**

CARRIÓ (1997) define a Patologia Construtiva da Edificação como a ciência que estuda os problemas construtivos que aparecem no edifício, ou em algumas de suas unidades, depois de sua construção.

Segundo VERÇOZA (1991) as edificações também podem apresentar defeitos comparáveis a doenças, como rachaduras, manchas, descolamentos, deformações, rupturas etc e, tal como a patologia médica, é necessário incluir o estudo e identificação das causas desses males (diagnóstico) e suas correções (terapia), sendo o conhecimento da patologia indispensável para todos que trabalham na construção, do operário até o engenheiro e arquiteto pois, conhecendo os defeitos que uma edificação pode apresentar e suas possíveis causas, é menos provável que se cometa os erros que podem ocasioná-los.

SOUZA E RIPPER (1998) designaram a área de estudo de patologia das estruturas como:

(...) novo campo da Engenharia das Construções que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas.

E acrescentam que a necessidade de reabilitar e manter as estruturas existentes, seja por razões de fundo econômico, social, patrimonial ou histórico, cria uma nova escola

em que a avaliação do que já existe para analisar a capacidade de desempenho futuro se tornou fundamental.

Tomando por base BOLINA; TUTIKIAN; HELENE (2019), a palavra patologia é uma ciência e remonta à área do conhecimento que estuda a explicação das origens, fatores e mecanismos de degradação dos materiais e sistemas construtivos e, por se tratar de um único campo de estudo, não há o plural da palavra. Podendo-se, para introduzir seus estudos, correlacioná-la à da área médica, por ser mais frequente em nosso cotidiano. O quadro 1, estabelecido pelos autores, apresenta um resumo dos termos gerais com definições importantes no estudo da área.

**Quadro 1** – Definições e nomenclaturas no estudo de patologia das construções

Nomenclatura	Definição
Patologia das construções	É a ciência que estuda os defeitos e as falhas em edificações e construções em geral
Patólogo ou inspetor	É o profissional que trabalha com patologia das construções
Vida útil de projeto (VUP)	Vida útil prevista e demonstrada no projeto executivo, com manutenção realizada de acordo com o estabelecido no manual de uso, operação e manutenção
Manutenção	Pode ser a preventiva, corretiva, preditiva e detectiva. Ver NBR 5674 (ABNT, 2012a)
Manifestação patológica	São os defeitos, falhas e danos observados nas construções. Por exemplo, uma fissura ou um manchamento de elemento estrutural
Profilaxia	São as medidas preventivas adotadas para que não ocorram problemas nas construções. Por exemplo, adotar um cobrimento de concreto adequado para proteger as armaduras da corrosão
Sintomatologia	É o estudo de como os defeitos se manifestam visualmente, no qual um patólogo ou inspetor se baseia para um diagnóstico preliminar do problema. O diagnóstico preliminar depende muito da experiência do profissional e de conhecimento prévio de casos similares
Anamnese	É a análise de documentos, projetos e do histórico da edificação. Pode incluir entrevistas com moradores ou usuários com conhecimento sobre o objeto de estudo, como um síndico ou vizinho antigo
Ensaio não e semidestrutivos	Os ensaios não destrutivos não causam qualquer dano ao objeto de estudo, como no caso de uma esclerometria ou ultrassom. Já os ensaios semidestrutivos causam alguma perturbação, como quando se extrai um corpo de prova de concreto para averiguar a resistência do elemento
Diagnóstico	É a busca por se entender o que aconteceu. Qual o fenômeno instalado, por que ocorreu, quais as consequências: deve explicar os sintomas, as origens e o mecanismo dos fenômenos envolvidos
Prognóstico	É o que irá ocorrer com a edificação enferma caso nada seja feito para corrigir ou estancar o problema. Por exemplo, o prognóstico para uma viga com corrosão de armadura pode ser o seu colapso estrutural
Terapia	É a correção dos danos. Pode ser um reforço, reparo, restauro, <i>retrofit</i> , entre outras opções

**Fonte:** BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019.

A patologia das construções é definida então, como o estudo sistemático dos problemas e defeitos em edificações. Essa área analisa os sintomas das anomalias (sintomatologia), identifica as causas e consequências (diagnóstico), coleta dados históricos e depoimentos (anamnese), prevê possíveis evoluções dos problemas (prognóstico), propõe soluções corretivas (terapia) e sugere ações preventivas para evitar recorrências (profilaxia) (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019).

## **2.3 Terminologia Essencial**

Grande parte das manifestações patológicas nas construções surge ainda na fase de execução e podem ser evitadas com um controle de qualidade mais eficiente (MONTROYA, 2017 *apud* SILVA, 2023). A identificação precoce dessas anomalias por meio de inspeções visuais e mapeamento é fundamental para avaliar a gravidade das manifestações, conter sua propagação e auxiliar na priorização de ações de manutenção preventiva e corretiva (LIN *et al.*, 2021 *apud* SILVA, 2023).

A seguir, destacam-se alguns dos termos empregados em patologia das construções, definindo também seus conceitos, segundo as definições propostas por BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, (2019) para os processos de identificar, interpretar, projetar e remediar uma edificação.

### **2.3.1 Profilaxia**

Se refere às medidas preventivas tomadas antes do surgimento de problemas patológicos nas edificações e inclui ações como manutenção preventiva, cuidados adequados de projeto e execução, especificação correta de materiais como cobrimentos e concretos, uso de barras de aço galvanizadas, espessuras adequadas em revestimentos, manutenção do sistema de pintura, limpeza das juntas de dilatação, substituição de componentes hidrossanitários dentre outros (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019). Para estes itens, temos diversas normas que estabelecem critérios a serem seguidos nos projetos e execuções de edificações, em âmbito nacional, a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) é a responsável por tais elaborações.

### **2.3.2 Sintomatologia**

Etapa que estuda a forma e as características de manifestação da doença. As manifestações patológicas visíveis são sintomas, indicando a presença de algum problema ou anomalia no elemento observado. Seu objetivo é analisar esses sinais para entender quais as possíveis causas que culminaram no aparecimento da doença e orientar intervenções corretivas adequadas, sendo uma etapa exploratória, que propõe a definição de hipóteses e contribui para o diagnóstico. Os autores destacam que, mesmo ainda nesta fase, profissionais experientes conseguem estabelecer um diagnóstico fundamentado apenas nos sintomas. (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019).

### **2.3.3 Diagnóstico**

O diagnóstico em patologia das construções consiste na identificação precisa dos mecanismos e causas das manifestações patológicas, com base em análises técnicas e coleta de dados. Um diagnóstico bem conduzido orienta intervenções corretivas e preventivas eficazes, minimiza custos e garante segurança. Exige abordagem multidisciplinar, conhecimento do histórico da edificação e aplicação de ensaios adequados. Diagnósticos equivocados podem levar a soluções ineficientes e aumento de riscos (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019, TUTIKIAN; PACHECO, 2013). Dentro do diagnóstico, temos algumas etapas importantes que são apresentadas a seguir.

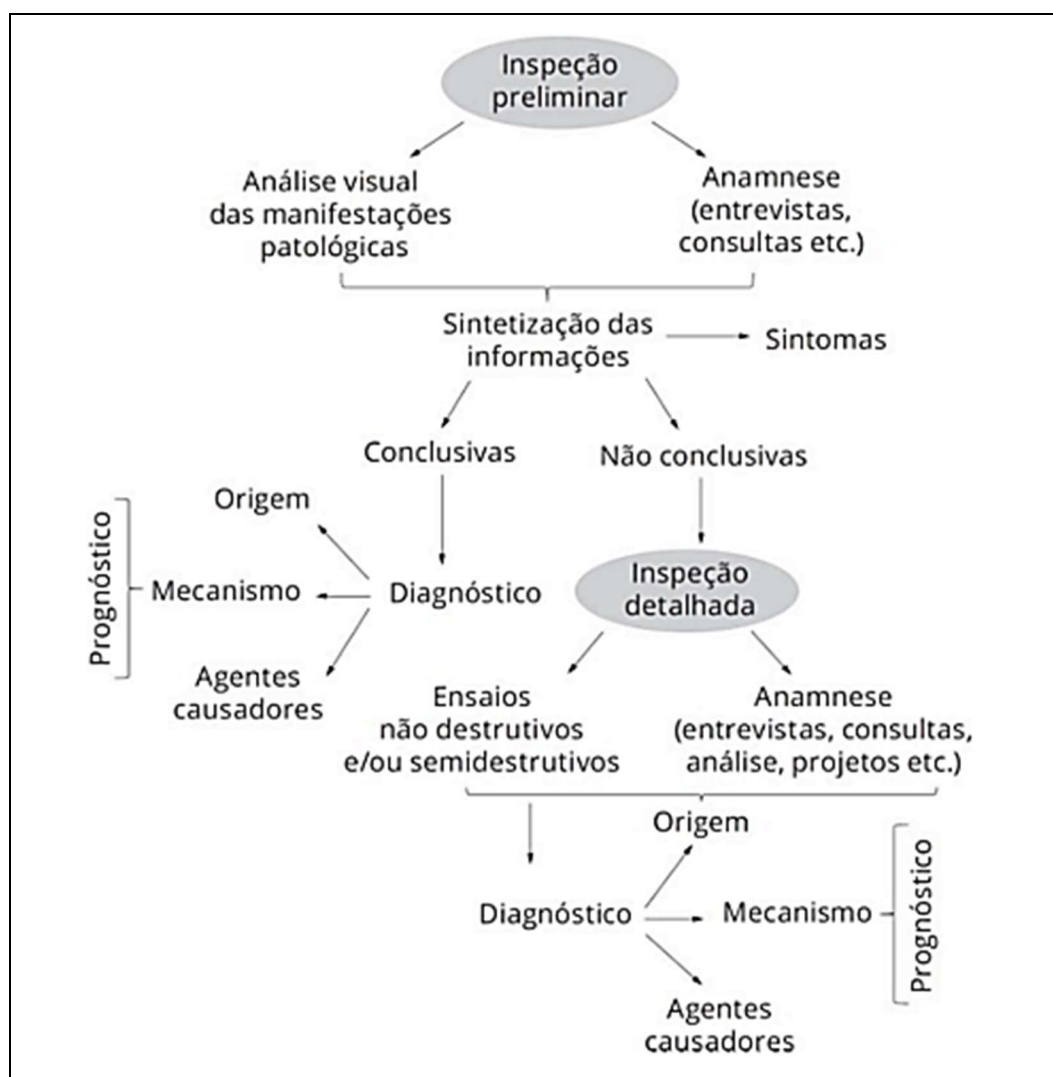
#### **2.3.3.1 Inspeção**

Inspeção é a atividade técnica especializada que visa avaliar as condições gerais de uma edificação, sendo o ponto inicial para o diagnóstico e a definição das ações de manutenção. O tipo (preventiva, preditiva, detectiva ou corretiva), a frequência e a metodologia das inspeções devem estar previstas desde a fase de projeto e detalhadas nos manuais técnicos entregues aos usuários (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019).

O organograma da figura 4 ilustra os tipos de intervenção possíveis em uma edificação para seu diagnóstico, caracterizando a sequência de estudo.

Podendo ser preliminar, com observação visual, ou detalhada, exigindo coleta de dados, ensaios e análise documental. O objetivo é identificar anomalias, orientar ações corretivas e definir o tipo de manutenção necessário. Devendo ser conduzida por profissionais qualificados, seguindo metodologia compatível com a complexidade da edificação (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019; HELENE, 2007).

**Figura 4** – Organograma dos tipos de inspeção em uma edificação



Fonte: Adaptado de BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019.

### 2.3.3.2 Mecanismo

Refere-se à identificação dos processos químicos, físicos ou mecânicos responsáveis pela deterioração dos materiais. Trata-se da explicação técnica sobre como ocorreu essa degradação, sem, entretanto, esclarecer suas causas originais (como falhas de projeto ou execução). Compreender os mecanismos causadores das manifestações

patológicas nas edificações é essencial para preveni-las (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019). A tabela 1 exemplifica os tipos de mecanismo, trazendo suas definições e exemplos comuns de manifestações patológicas.

**Tabela 1** – Tipos de mecanismos de deterioração nas construções

<b>Tipos de Mecanismos de Deterioração nas Construções</b>		
<b>Tipo de Mecanismo de Deterioração</b>	<b>Descrição</b>	<b>Exemplos Comuns</b>
<b>Químico</b>	Resulta da interação de materiais com agentes químicos internos ou externos.	Corrosão de armaduras, ataque por sulfatos, reações álcali-agregado.
<b>Físico</b>	Decorre de variações ambientais que causam alterações volumétricas.	Fissuras por variação térmica, descolamento de revestimentos, expansão por sais.
<b>Mecânico</b>	Provocado por esforços externos que excedem a capacidade dos materiais.	Fissuras por sobrecarga, impacto, recalques diferenciais, falhas estruturais.
<b>Biológico</b>	Causado por organismos vivos que afetam os materiais.	Fungos, musgos, raízes invasoras, biodeterioração em áreas úmidas e sombreadas.

**Fonte:** Adaptado de BOLINA; TUTIKIAN; HELENE (2019).

### 2.3.3.3 Origem

Refere-se às causas primárias ou iniciais das manifestações patológicas nas edificações. Em geral, estão associadas a falhas ocorridas ao longo das diferentes etapas do ciclo de vida da construção, tais como planejamento inadequado, erros em projetos, fabricação incorreta de materiais, execução deficiente, uso indevido, falhas ou ausência de manutenção e problemas no descarte final. Identificar corretamente essas origens é essencial para ações preventivas eficazes, considerando que grande parte das patologias resulta de falhas humanas (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019).

### 2.3.3.4 Agentes Causadores

São os elementos ou condições que desencadeiam o processo patológico nas construções. Podem ser classificados como intrínsecos ou extrínsecos, podendo ser diferenciados conforme tabela comparativa 2 a seguir.

**Tabela 2** – Classificação dos agentes causadores de manifestações patológicas

<b>Classificação dos Agentes Causadores das Manifestações Patológicas</b>		
<b>Tipo de Agente</b>	<b>Descrição</b>	<b>Exemplos Comuns</b>
<b>Intrínseco</b>	Relacionado a falhas internas do próprio sistema construtivo ou aos materiais utilizados.	- Erros de projeto
		- Execução inadequada
		- Uso de materiais de baixa qualidade
		- Falhas de dimensionamento
		- Detalhamentos construtivos incorretos
<b>Extrínseco</b>	Resultante da ação de fatores externos à construção.	- Ações ambientais (chuvas, ventos, variações térmicas)
		- Ataques químicos ou biológicos
		- Sobrecargas não previstas
		- Mudanças de uso da edificação
		- Falta de manutenção ou manutenção inadequada

**Fonte:** Adaptado de BOLINA, TUTIKIAN, HELENE (2019).

### 2.3.4 Prognóstico

Consiste na previsão da evolução das manifestações patológicas ao longo do tempo, considerando fatores como tipo de anomalia, ambiente e condições de exposição. Essa análise orienta intervenções que visam prolongar a vida útil da edificação, sendo aplicável tanto a elementos já afetados quanto àqueles com risco de deterioração futura (TUTIKIAN; PACHECO, 2013 *apud* BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019).

### 2.3.5 Terapia

Corresponde às ações corretivas aplicadas para interromper as manifestações patológicas, restaurando a segurança, funcionalidade e desempenho da edificação. Sua eficácia depende diretamente da qualidade do diagnóstico, e sua escolha considera fatores técnicos, históricos, econômicos e sociais. Cada intervenção, tabela 3, deve ser adaptada ao problema específico, priorizando soluções eficientes, compatíveis com os materiais e o contexto da edificação (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019, CÁNOVAS, 1988).

**Tabela 3** – Principais formas de intervenção terapêutica de edificações

<b>Principais formas de intervenção terapêutica</b>		
<b>Forma de Intervenção</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Descrição Resumida</b>
<b>Reabilitação</b>	Restaurar o desempenho original	Recuperação geral do desempenho de edificações deterioradas.
<b>Recuperação</b>	Corrigir falhas e restaurar desempenho. Engloba três subtipos:	• Reparo: corrige danos localizados, sem alterar a estrutura;
		• Reforço: aumenta capacidade estrutural (ex: fibras de carbono, metais);
		• Restauro: preserva e recupera o aspecto histórico.
<b>Reforma</b>	Alterar ou adaptar o uso	Modifica elementos sem foco na preservação histórica. Regida pela <b>NBR 16280</b> .
<b>Reconstrução</b>	Reproduzir a edificação	Reconstrução parcial ou total, com base em registros históricos.
<b>Retrofit</b>	Atualizar funcionalmente	Moderniza sistemas e materiais de edificações antigas, mantendo seu valor histórico.

**Fonte:** Adaptado de Bolina, Tutikian e Helene (2019); Cánovas (1988); ABNT (2014).

### 2.3.6 Manutenção das Edificações

A manutenção é essencial para preservar o desempenho das edificações ao longo de sua vida útil, prevenindo manifestações patológicas, reduzindo custos com correções e garantindo segurança e conforto aos usuários (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019). De acordo com a NBR 5674 (ABNT, 2024), toda edificação deve possuir um plano estruturado de manutenção, com ações descritas, periodicidade, responsáveis e normas aplicáveis. Podendo ser classificada conforme sua finalidade e momento de realização, tabela 4, em quatro tipos principais (HELENE, 2007).

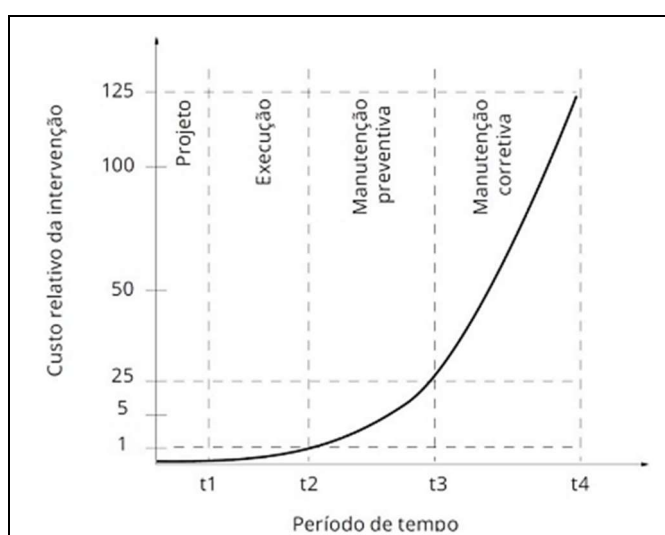
Tabela 4 – Tipos de manutenção em edificações

Tipos de manutenção em edificações		
	Objetivo	Descrição Resumida
<b>Corretiva</b>	Corrigir falhas já ocorridas	Realizada após o aparecimento da falha. Pode ser planejada ou emergencial.
<b>Preventiva</b>	Prevenir falhas	Executada periodicamente, antes que os problemas apareçam. Ex: pintura periódica.
<b>Preditiva</b>	Monitorar desempenho	Baseada em análise de dados ao longo do tempo para prever o momento ideal da intervenção.
<b>Detectiva</b>	Detectar falhas ocultas	Utiliza sensores e sistemas automatizados para identificar anomalias não visíveis. Pouco usada no Brasil.

Fonte: Adaptado de BOLINA, TUTIKIAN e HELENE (2019).

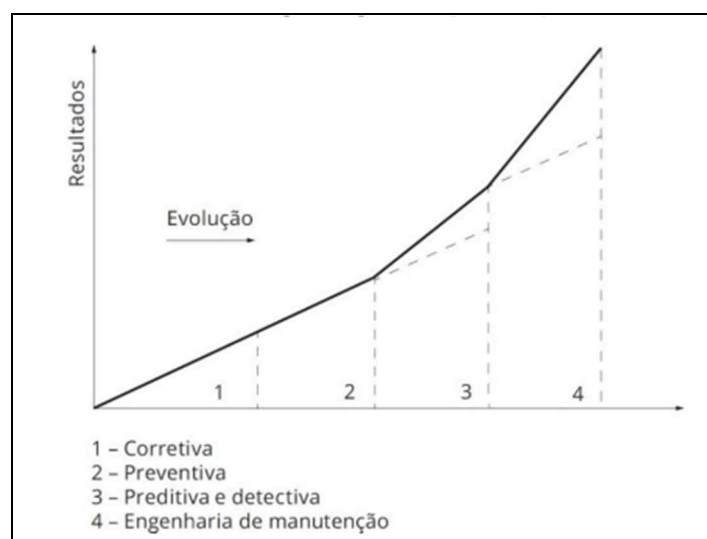
Segundo a Lei de Sitter (1984), quanto mais cedo as intervenções são realizadas (idealmente na fase de projeto ou execução), menores serão os custos associados à manutenção, havendo um aumento significativo dos custos quando a manutenção ocorre na fase corretiva, após problemas já instalados, conforme gráfico 1 (KARDEC; NASCIF, 2001 *apud* BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019).

Gráfico 1 – Lei de Sitter



Fonte: Adaptado de SITTER (1984) *apud* BOLINA; TUTIKIAN; HELENE (2019).

Além do custo que aumenta quanto mais tardia for a manutenção, temos uma relação com a qualidade dos resultados obtidos também. O gráfico 2 demonstra os tipos de manutenção versus os resultados obtidos com cada uma. Com os autores reafirmando que, quanto antes a manutenção é feita, melhores são os resultados obtidos.

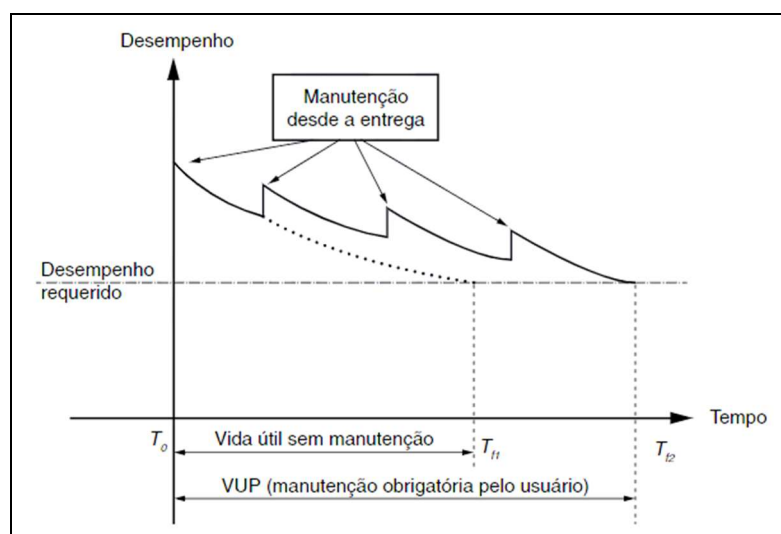
**Gráfico 2** – Tipos de manutenção versus resultados obtidos

**Fonte:** Adaptado de KARDEC e NASCIF (2007) *apud* BOLINA; TUTIKIAN; HELENE (2019).

A engenharia de manutenção abrange uma visão multidisciplinar e sistemática, focada na qualidade e no desempenho global das edificações, indo além da simples substituição periódica de peças, envolvendo desde a concepção do projeto e definição do plano de manutenção até o controle rigoroso na execução e monitoramento contínuo das atividades, materiais e equipamentos envolvidos (BOLINA; TUTIKIAN; HELENE, 2019). Já o programa de manutenção é o documento elaborado pelo projetista com base no manual de uso e operação da edificação, definindo atividades essenciais, periodicidade, responsáveis pela execução, referências normativas e recursos necessários para a manutenção da edificação. Essas informações são entregues ao usuário, seguindo as orientações das normas NBR 5674 (ABNT, 2024) e NBR 14037 (ABNT, 2024).

### 2.3.7 Vida útil

A NBR 15575 (ABNT, 2024) define por vida útil (VU) o período de tempo em que um edifício e/ou seus sistemas se prestam às atividades para as quais foram projetados e construídos, com atendimento dos níveis de desempenho requeridos em normativa, considerando a periodicidade e a correta execução dos processos de manutenção especificados em seu manual de uso, operação e manutenção, sendo compreendido como o período de tempo entre o início de operação ou uso e o momento em que o seu desempenho deixa de atender aos requisitos do usuário preestabelecidos, conforme gráfico 3.

**Gráfico 3 – Desempenho ao longo do tempo**

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2024).

Enquanto a vida útil de projeto (VUP) é definida como o tempo estimado para o qual um sistema é projetado para atender aos requisitos de desempenho da norma. No entanto, a VUP depende diretamente da correta execução das manutenções e do uso adequado da edificação, podendo ser reduzida por negligência, alterações ambientais ou uso indevido. Esta não deve ser confundida com a vida útil real da edificação, já que diversos fatores como manutenção deficiente, alterações ambientais ou climáticas podem interferir diretamente nesse tempo estimado (ABNT, 2024).

A tabela 5 estabelece os valores mínimos em anos de acordo com o sistema da edificação.

**Tabela 5 – Vida Útil de Projeto**

Sistema	VUP mínima em anos
Estrutura	≥ 50 Conforme ABNT NBR 8681
Pisos internos	≥ 13
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Cobertura	≥ 20
Hidrossanitário	≥ 20
* Considerando periodicidade e processos de manutenção segundo a ABNT NBR 5674 e especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção entregue ao usuário elaborado em atendimento à ABNT NBR 14037.	

Fonte: Adaptado de NBR 15575 (2024).

Ainda que a NBR 15575 esteja voltada especificamente para edificações habitacionais, seus conceitos são importantes para o estudo e entendimento de patologia das construções em geral pois podem servir como parâmetro para medir o desempenho das estruturas. No caso específico das edificações de patrimônio histórico, é necessário seguir as demais regulamentações e procedimentos específicos dos órgãos deliberativos pelas edificações históricas nos âmbitos federal, estadual e municipal.

## **2.4 Problemas Patológicos em Edificações Históricas**

A degradação das edificações de valor patrimonial, adquire relevância devido ao envelhecimento inevitável dos materiais e sua exposição às condições ambientais. Estes bens apresentam alta incidência de danos, sendo o estudo dessas manifestações uma ferramenta essencial para sua manutenção e conservação, preservando a identidade cultural das comunidades (XAVIER JÚNIOR *et al.*, 2022).

Segundo ROCHA, CARNEIRO e MONTEIRO (2023), a preservação das construções históricas requer uma abordagem multidisciplinar devido à diversidade dos materiais empregados e às intervenções prévias realizadas, fatores que podem levar a diagnósticos imprecisos ou intervenções inadequadas. Esses edifícios, muitas vezes construídos com técnicas empíricas ou sem projeto formal, apresentam materiais porosos e vulneráveis a problemas patológicos, como biodeterioração, cristalização de sais e ataques químicos, intensificados pela ausência de manutenção preventiva.

A ausência de documentação técnica detalhada compromete diagnósticos e intervenções eficazes em edificações históricas, tornando sua estrutura mais vulnerável. Essa lacuna resulta da desvalorização da preservação documental. Além disso, há escassez de estudos que tratem dos aspectos técnicos e estruturais dessas construções, dificultando a compreensão dos processos de deterioração e a definição de estratégias adequadas de conservação (BERNARDO, 2024).

### 2.4.1 Métodos Tradicionais de Diagnóstico de Patologia

A técnica de identificação de patologia nas construções tem como pré-requisito o correto diagnóstico das manifestações, não sendo esta uma atividade somente técnica, mas também de observação. Os erros nesta etapa podem resultar em intervenções (terapêuticas) que podem ser incorretas, o que pode agravar o problema, pois muitas manifestações podem ser aparentemente similares, mas ter diferenciações importantes (CORTIZO, 2007), a escolha dos métodos depende do conhecimento técnico e da infraestrutura disponível aos pesquisadores (XAVIER JÚNIOR *et al.*, 2022).

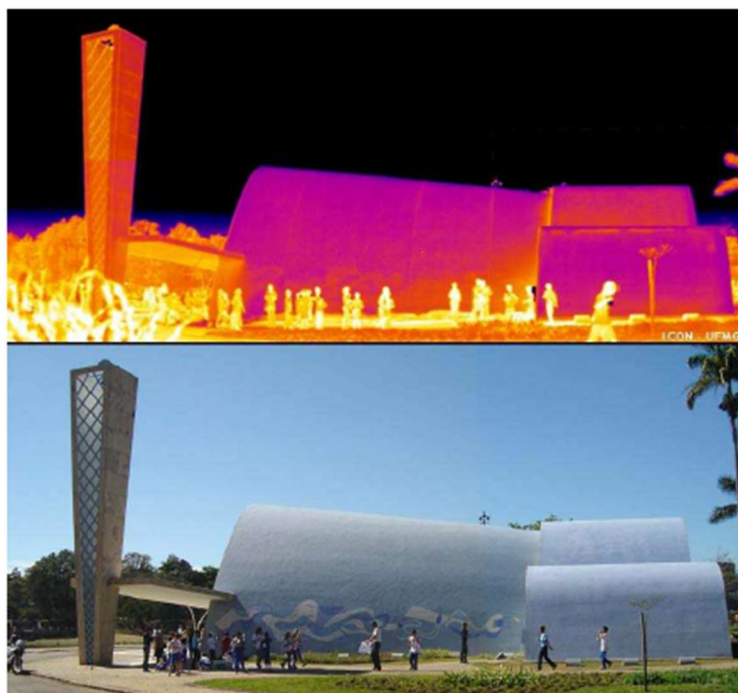
A técnica destrutiva de identificação de anomalias, patologias ou estruturas ocultas por processo de intervenção física pode, em geral, descaracterizar, danificar, alterar ou destruir características, detalhes ou mesmo a integralidade do bem imóvel (CORTIZO, 2007).

Enquanto, acordo com XAVIER JÚNIOR *et al.*, (2022), as técnicas não destrutivas (*do inglês, non-destructive testings - NDT*), como levantamentos métricos, fotográficos e fotogramétricos, tornam-se fundamentais nesses estudos, já que respeitam as restrições de intervenção direta nos edifícios históricos. Além de que o uso combinado dessas técnicas proporciona melhores resultados e uma maior precisão nos diagnósticos.

Antes de qualquer intervenção é essencial realizar uma análise criteriosa do estado de conservação do bem. Os ensaios não destrutivos como inspeção visual, ultrassom, GPR, líquidos penetrantes, termografia de infravermelho - figura 5, sondagem por percussão, entre outros são particularmente recomendados em inspeções prediais de edifícios históricos pois garantem diagnósticos mais precisos e confiáveis, minimizando os impactos estruturais e permitindo uma intervenção mais eficaz (MOROPOULOU *et al.*, 2013 *apud* ROCHA; CARNEIRO; MONTEIRO, 2023).

Segundo CORTIZO (2007) e SILVA (2023), dentre as técnicas recomendadas estão a inspeção visual, para avaliar as condições das edificações e de seus componentes, garantindo eficiência na manutenção e sua vida útil e a termografia infravermelha, que se destaca por sua aplicação eficaz na detecção de vazamentos, inspeções térmicas e conservação do patrimônio histórico (CORTIZO, 2007; SILVA, 2023).

**Figura 5** – Termograma e foto, Igreja S. Francisco de Assis, Belo Horizonte (MG)



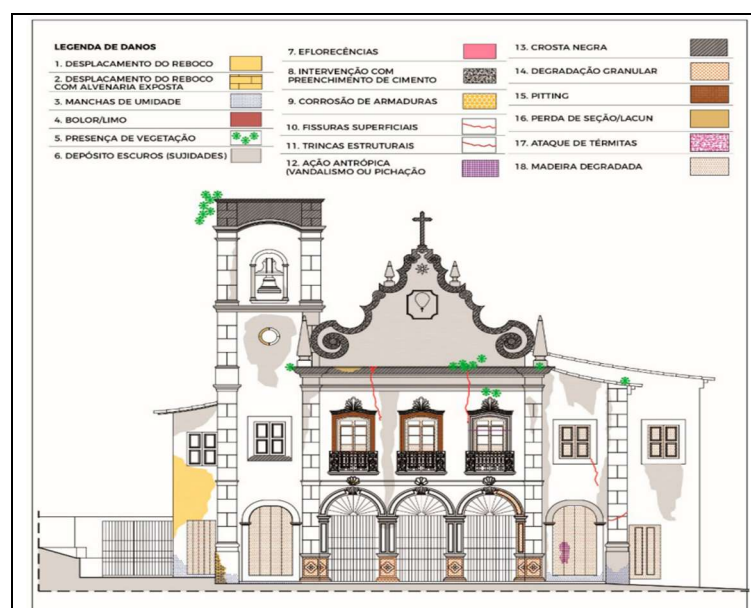
Fonte: Adaptado de CORTIZO, 2007.

#### 2.4.2 Inspeção Predial e Mapa de Danos

A inspeção predial em edificações históricas é essencial para diagnosticar manifestações patológicas e deve compor uma rotina preventiva. Baseia-se em observações visuais e ensaios (destrutivos ou não), complementados por uma análise histórica da edificação, identificação de materiais e registro de intervenções anteriores (ROCHA; CARNEIRO; MONTEIRO, 2023).

O mapeamento dos danos pode ser feito por meio de representações gráficas padronizadas em softwares como o *AutoCAD*, figura 6, associadas a uma Ficha de Identificação de Danos (FID), conforme figura 7, que organiza e padroniza as informações. Apesar de existirem diretrizes internacionais, o Brasil ainda carece de norma específica para padronizar totalmente essas representações (TINOCO, 2009 *apud* ROCHA; CARNEIRO; MONTEIRO, 2023).

**Figura 6** – Mapa de danos, Igreja de N. S. do Rosário dos Homens Pretos, Olinda (PE)



Fonte: Adaptado de ROCHA, CARNEIRO e MONTEIRO (2023).

Embora exista a NBR 16747 (ABNT, 2020) sobre inspeções prediais, a mesma não contempla especificidades do patrimônio histórico, mas pode servir de base para as inspeções destes bens, desde que conjunta à adoção de critérios conforme orientações e normativas dos órgãos responsáveis por estes temas, tanto em âmbito nacional, como o IPHAN, quanto em âmbito estadual, como o IEPHA - no caso de Minas Gerais, além de verificar as diretrizes e recomendações propostas por órgãos e entidades internacionais que versam sobre estes bens como ICOMOS, UNESCO, dentre outros.

**Figura 7** – FID - Igreja N.S. do Rosário dos Homens Pretos, Olinda (PE)



Fonte: Adaptado de ROCHA, CARNEIRO e MONTEIRO (2023).

### 2.4.3 Diagnóstico com Termografia de Infravermelho

A termografia por infravermelho é uma técnica de ensaio não destrutivo amplamente utilizada no diagnóstico de manifestações patológicas em edificações, com destaque especial para construções históricas, onde intervenções devem ser minimamente invasivas. Através da detecção da radiação térmica emitida pelas superfícies, é possível mapear variações de temperatura que indicam possíveis anomalias como infiltrações, umidade, destacamentos de revestimentos ou falhas de isolamento térmico (ROCHA; CARNEIRO; MONTEIRO, 2023; BERNARDO, 2024).

Segundo CORTIZO (2007), a termografia é uma técnica baseada na detecção da radiação térmica emitida por corpos com temperatura acima do zero absoluto. Sua história remonta ao início do século XIX, evoluindo com descobertas científicas fundamentais até os modernos sistemas digitais, conforme tabela 6 com a linha do tempo da tecnologia, que se tornou uma ferramenta de grande utilidade para diagnósticos técnicos na construção civil e na conservação do patrimônio histórico.

**Tabela 6** – Linha do tempo da termografia infravermelha

<b>Ano</b>	<b>Marco Histórico</b>
<b>1800</b>	William Herschel detecta a radiação infravermelha.
<b>1840</b>	John Herschel realiza as primeiras imagens por evaporação (técnica evaporográfica).
<b>1843</b>	Henry Becquerel identifica luminescência e emulsões fotográficas sensíveis ao infravermelho.
<b>1880</b>	Samuel Langley desenvolve o primeiro bolômetro para medir pequenas variações térmicas.
<b>1917</b>	Case cria detector por interação direta da radiação infravermelha com elétrons (sulfeto de tálio).
<b>1929</b>	Czerny produz o primeiro termograma da história.
<b>1940</b>	Alemanha usa visão noturna em tanques; EUA desenvolvem o sistema FLIR (Forward Looking Infrared).
<b>1946</b>	Surge o escâner de infravermelho para uso militar (gera termograma em horas).
<b>1954</b>	Desenvolvimento de sistema capaz de gerar imagem 2D em 45 minutos.
<b>1960–70</b>	Avanço dos imageadores infravermelhos com imagens instantâneas e determinação de temperatura.
<b>1975</b>	Surge o sistema ENOUX com visão óptica e termográfica simultânea.
<b>1980–90</b>	Consolidação da imagem em tempo real, com termovisores compactos e uso de computação e sensores.
<b>1990's</b>	Aplicação do sensor CCD marca novo salto tecnológico em sensoriamento térmico.

Fonte: Adaptado de CORTIZO, 2007.

Este método baseia-se na captura da radiação infravermelha por câmeras termográficas, que convertem as emissões em imagens térmicas (termogramas). Essas imagens revelam diferenças de temperatura na superfície dos materiais, apontando regiões com maior concentração de umidade ou perda de aderência, existindo duas abordagens principais da termografia, conforme demonstrado na tabela 7 (FREITAS; FREITAS; BARREIRA, 2014 *apud* ROCHA; CARNEIRO; MONTEIRO, 2023).

A técnica apresenta vantagens como rapidez, aplicação em tempo real, ausência de contato físico com a estrutura e ampla aplicabilidade em fachadas, coberturas e alvenarias. Contudo, também possui limitações à variabilidade da emissividade dos materiais, interferências da radiação solar, umidade do ar, experiência do profissional e o posicionamento do equipamento em campo, que podem comprometer os resultados (BAUER; LEAL, 2013; *apud* ROCHA; CARNEIRO; MONTEIRO, 2023).

**Tabela 7** – Principais abordagens da termografia

<b>Abordagens da Termografia de Infravermelho</b>				
<b>Tipo de Abordagem</b>	<b>Descrição</b>	<b>Aplicações Comuns</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Limitações</b>
<b>Termografia Passiva</b>	Utiliza apenas a radiação térmica natural emitida pelas superfícies para capturar imagens térmicas.	Diagnóstico de umidade, infiltrações, delaminações, falhas de isolamento.	Não requer estímulos externos; fácil execução em campo; menor custo operacional.	Sensível a variações climáticas; depende da diferença natural de temperatura entre os materiais.
<b>Termografia Ativa</b>	Envolve o estímulo térmico (aquecimento ou resfriamento) da superfície analisada para evidenciar anomalias internas.	Ensaio de desempenho térmico, avaliação de eficiência energética, detecção de vazios ou falhas profundas.	Maior sensibilidade em materiais homogêneos; útil em situações sem contraste térmico natural.	Requer equipamentos adicionais e controle ambiental; mais complexa de executar.

**Fonte:** Adaptado de ROCHA, BREMER e CORTIZO (2018); MALDAGUE (2001); MOROPOLOU *et al.*, (2013) *apud* ROCHA, CARNEIRO e MONTEIRO (2023).

Segundo BERNARDO (2024), o uso da termografia contribui significativamente para o mapeamento de danos em edificações modernas e históricas, auxiliando na

interpretação das manifestações patológicas e na definição de estratégias de intervenção. A aplicação da técnica em conjunto com mapas de danos e fichas de inspeção padronizadas promove diagnósticos mais assertivos, sustentando decisões baseadas em evidências técnicas confiáveis.

Assim, a termografia de infravermelhos destaca-se como método econômico, rápido e eficaz, especialmente vantajoso para edifícios históricos devido à sua natureza não invasiva e capacidade de auxiliar na preservação dessas estruturas (ROCHA; CARNEIRO; MONTEIRO, 2023).

## **2.5 Inteligência Artificial (IA)**

### **2.5.1 Conceitos introdutórios e Contexto Histórico da IA**

A questão da Inteligência Artificial (IA) (do inglês, *Artificial Intelligence - AI*) pode remontar à ficção, a ideia de “máquinas que teriam habilidades e capacidades humanas” está há muito inserida no imaginário das pessoas e foram sendo retratadas em diversos momentos da história em pinturas, esculturas, desenhos, contos e livros. Passando pelo místico e poeta Ramon Llull (cerca de 1235 – 1316), pelo polímata Leonardo da Vinci (1452 – 1519), pelo filósofo Thomas Hobbes (1588 – 1679), pelo inventor e engenheiro Jacques de Vaucanson (1709 – 1782), pela escritora Mary Wollstonecraft Godwin (1797 – 1851) – creditada como a primeira autora de uma obra de ficção científica, pelo autor e dramaturgo Karel Capek (1890 – 1938) - creditado por cunhar a palavra “robô”, pelo escritor e bioquímico Isaac Asimov (1920 – 1992), dentre tantos outros autores que adicionaram tais “criações” ao lúdico (ALVES, 2006).

O termo inteligência artificial ainda gera controvérsias em seu uso por não ter uma definição consensual. Esta discussão que tem como ponto de partida o próprio uso e definição da palavra “inteligência”, que, segundo alguns pesquisadores e autores, como RUSSELL (2010), referência no campo de inteligência artificial, cunha que uma entidade seria inteligente na medida em que o que faz é capaz de alcançar o que deseja. Ele escreve:

“Todas essas outras características da inteligência – perceber, pensar, aprender, inventar e assim por diante – podem ser compreendidas por meio de suas contribuições para nossa capacidade de agir com sucesso.”

E lembra ainda, que o conceito de inteligência, desde os primórdios da filosofia grega, está associado a capacidades humanas (perceber, raciocinar e agir), o que não seria o caso da inteligência artificial, caracterizada por modelos de otimização com objetivos definidos e programados por humanos e não dotados destes atributos.

Já para outros autores, a “inteligência” não é considerada uma prerrogativa humana, como citado por NILSSON (2009):

“a inteligência é aquela qualidade que permite que uma entidade funcione apropriadamente e com previsão em seu ambiente. De acordo com essa definição, muitas coisas - humanos, animais e algumas máquinas - são inteligentes.”

Para KAUFMAN (2022), vivemos uma mudança na percepção da sociedade sobre essa tecnologia à medida em que se notou que vários artefatos computacionais foram atingindo bom desempenho em tarefas normalmente associadas às capacidades humanas.

A Inteligência Artificial é um campo da ciência da computação dedicado ao desenvolvimento de sistemas capazes de executar tarefas que, tradicionalmente, exigem inteligência humana, como reconhecimento de padrões, tomada de decisão, raciocínio e aprendizado. Trata-se de uma área multidisciplinar que combina conhecimentos de estatística, ciência da computação, matemática e neurociência para permitir que máquinas operem de forma autônoma em ambientes complexos (IBM, 2024).

Partindo das ideias do filósofo Aristóteles (384 – 322 a.C.), que desenvolveu o método da lógica formal conhecido como “silogismo”, além do sistema de categorização do conhecimento e de raciocínio sistemático, princípios que foram essenciais para a criação da lógica da IA e são utilizados com a mesma essência na IA moderna, hoje procurando se combinar afirmações, argumentos, fatos e probabilidades de forma mais flexível e pragmática, buscando além do aprendizado de máquina, técnicas de

planejamento automático e de representação do conhecimento, fundamentais para o aperfeiçoamento das IA's (KAUFMAN, 2022).

Uma maneira simples de pensar sobre IA é como uma série de conceitos derivados que surgiram ao longo de mais de 70 anos (IBM, 2024, tradução nossa).

Para entendermos a história da IA, podemos seguir uma linha do tempo, com alguns grandes marcos sobre o avanço nestes estudos, passando por marcos importantes das origens, os avanços até a atualidade com a IA e os modelos avançados de aprendizado de máquina, conforme tabela 8 abaixo.

**Tabela 8** - Principais Marcos da História da Inteligência Artificial

Período	Marco Histórico
<b>Origens e Primeiros Avanços (1950–1980)</b>	
1950	Alan Turing publica o artigo ' <i>Computing Machinery and Intelligence</i> ', introduzindo o Teste de Turing, que avalia se uma máquina pode exibir comportamento inteligente indistinguível do humano.
1956	Conferência de Dartmouth College com a o cunho do termo 'inteligência artificial' por John McCarthy. Allen Newell, J.C. Shaw e Herbert Simon desenvolvem o Logic Theorist, primeiro programa funcional de IA.
1967	Frank Rosenblatt constrói o Mark 1 Perceptron, uma rede neural capaz de aprender por tentativa e erro. Em 1969, Marvin Minsky e Seymour Papert criticam as limitações dos perceptrons em seu livro, desestimulando temporariamente pesquisas em IA.
1980	A introdução do algoritmo de retropropagação permite treinar redes neurais multicamadas de forma eficaz, revitalizando o interesse na pesquisa de IA e lançando as bases do aprendizado profundo moderno.
<b>Consolidação e Avanços Significativos (1990–2010)</b>	
1995	Publicação de ' <i>Artificial Intelligence: A Modern Approach</i> ' por Stuart Russell e Peter Norvig, obra essencial para o estudo acadêmico e técnico da IA.
1997	O supercomputador Deep Blue, da IBM, derrota o campeão mundial de xadrez Garry Kasparov, destacando a capacidade computacional de resolver jogos complexos.
2007	John McCarthy publica ' <i>What is Artificial Intelligence?</i> ', oferecendo uma definição abrangente e influente de IA e estabelecendo uma base conceitual clara para futuras pesquisas e aplicações.
2011	IBM Watson vence o jogo ' <i>Jeopardy!</i> ' contra campeões humanos, demonstrando avanços significativos no processamento de linguagem natural e aprendizado de máquina.
<b>Era da IA Generativa e Modelos Avançados (2015–2024)</b>	
2015	Supercomputador Minwa, da Baidu, utiliza redes neurais convolucionais profundas para reconhecimento de imagens com precisão superior à média humana.
2016	AlphaGo, criado pela DeepMind, supera o campeão mundial de Go, Lee Sedol, demonstrando as capacidades da IA em jogos de estratégia complexa e profunda.

<b>2022</b>	A ascensão de modelos de linguagem de grande porte (LLMs), como o ChatGPT da OpenAI, marca uma revolução em aplicações e desempenho de IA, especialmente em tarefas de geração de texto e interação humana.
<b>2024</b>	Modelos multimodais emergem, integrando diferentes tipos de dados (texto, imagem, áudio), permitindo aplicações mais robustas, ricas e capazes de realizar múltiplas tarefas simultaneamente.

**Fonte:** Adaptado de IBM (2024), tradução nossa.

## 2.5.2 Inteligência Artificial e Subconjuntos

Em suma, a Inteligência Artificial (IA) visa criar sistemas capazes de reproduzir características da inteligência humana, como raciocínio lógico e resolução de problemas. Inicialmente restrita a poucos campos, a IA expandiu-se significativamente devido à evolução de seus subconjuntos e ao surgimento de novos algoritmos (SILVA, 2023). Conforme apresentado na tabela 9 a seguir, que demonstra a relação entre IA, ML, DL e Gen IA.

**Tabela 9** – Relação entre AI, ML, DL e Gen AI

<b>1950's</b>	<b>Inteligência Artificial (IA)</b> "Inteligência humana" exibida por máquinas		
	<b>1980's</b>	<b>Aprendizado de máquina (ou <i>Machine Learning</i> - ML)</b> Sistemas de IA que aprendem com dados históricos	
		<b>2010's</b>	<b>Aprendizado profundo (ou <i>Deep Learning</i> - DL)</b> Modelos de aprendizado de máquina que simulam a "função do cérebro humano"
	<b>2020's</b>		<b>IA Generativa (ou <i>AI Generative</i> - AI Gen)</b> Modelos de aprendizado profundo (modelos fundamentais) que criam conteúdo original

**Fonte:** Adaptado de IBM (2024), tradução nossa.

Mondal (2020 apud SILVA, 2023) destaca que a IA engloba o Aprendizado de Máquina (*Machine Learning* - ML) e o Aprendizado Profundo (*Deep Learning* - DL), que permitem às máquinas aprenderem por meio de dados e produzirem soluções eficazes. O Aprendizado Profundo utiliza múltiplas camadas de processamento, aprendendo representações dos dados por níveis crescentes de abstração, sendo um subconjunto do Aprendizado de Representação, que integra o Aprendizado de Máquina e, conseqüentemente, a Inteligência Artificial (ILIN; WATSON; KOZMA, 2017 apud SILVA, 2023).

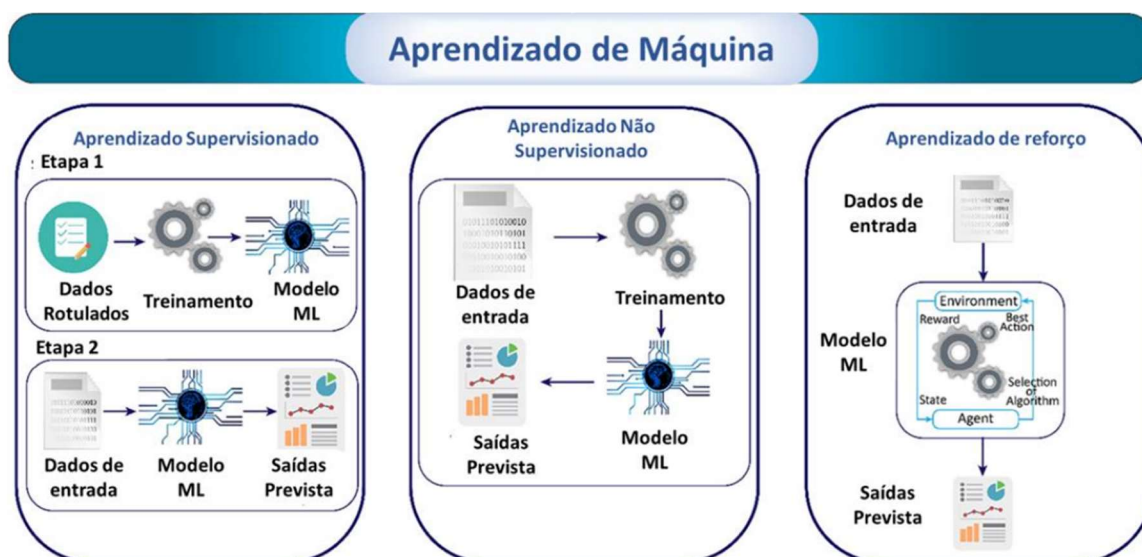
Abaixo da IA temos o Aprendizado de Máquina, que compreende algoritmos que aprendem a partir de dados para realizar previsões ou tomar decisões, sem que tenham sido explicitamente programados para cada tarefa (IBM, 2024).

### 2.5.2.1 Aprendizado de Máquina

O aprendizado de máquina (do inglês, *Machine Learning - ML*) é o ramo da ciência da computação que possibilita que sistemas aprendam a reconhecer padrões a partir de dados e experiências anteriores, utilizando algoritmos específicos para treinamento. Esse processo facilita a realização de previsões e classificações, auxiliando na tomada de decisões e na otimização do processamento de grandes volumes de dados (MAHESH, 2019; SINGH *et al.*, 2020; MEKONNEN *et al.*, 2020; XU *et al.*, 2021 *apud* SILVA, 2023).

De acordo com MEKONNEN *et al.*, (2020) e BADUGE *et al.*, (2022) *apud* SILVA, (2023), o aprendizado de máquina pode ser classificado conforme o grau de supervisão recebido durante o treinamento, conforme figura 8, dividindo-se em aprendizado supervisionado, não supervisionado ou por reforço:

Figura 8 – Categorização do Aprendizado de Máquina



Fonte: Traduzido de BADUGE *et al.*, (2022) *apud* SILVA (2023).

- a) **Aprendizado Supervisionado:** método em que o algoritmo é treinado com dados rotulados, aprendendo a relacionar variáveis de entrada e saída já conhecidas (GOODFELLOW *et al.*, 2016). Os dados são geralmente divididos

em conjuntos de treino e teste, para garantir previsões ou classificações mais precisas e confiáveis. Exemplos comuns incluem algoritmos como Árvores de Decisões, Florestas Aleatórias, *Gradient Boosting* e Redes Neurais (MAHESH, 2019; SINGH *et al.*, 2020 *apud* SILVA, 2023).

- b) **Aprendizado Não Supervisionado:** técnica que utiliza dados não rotulados para descobrir autonomamente padrões ou agrupamentos ocultos nos dados (GOODFELLOW *et al.*, 2016) (SINGH *et al.*, 2020; MEKONNEN *et al.*, 2020 *apud* SILVA, 2023). É utilizado, por exemplo, para agrupamento por similaridades, detecção de anomalias e redução da dimensionalidade dos dados. Exemplos típicos são os algoritmos *K-means* e *Apriori* (MAHESH, 2019 *apud* SILVA, 2023).
- c) **Aprendizado por Reforço:** baseado na interação do agente com o ambiente, em que o aprendizado ocorre por tentativa e erro. O agente aprende por meio de recompensas ou penalizações recebidas após cada decisão tomada, buscando maximizar o resultado final (GOODFELLOW *et al.*, 2016; DAYAN; NIV, 2008; MNIH *et al.*, 2015 *apud* SILVA, 2023). Um exemplo típico desse método é o algoritmo Q-learning (SILVA, 2023).

Além dos métodos de *ML* estarem evoluindo constantemente e sendo aplicado em várias áreas, seus subconjuntos vêm acompanhando essa evolução e difusão. Entre esses subconjuntos de algoritmos destaca-se o Aprendizado Profundo (MEKONNEN *et al.*, 2020 *apud* SILVA, 2023).

### 2.5.2.2 Aprendizado Profundo

Também conhecido como *Deep Learning (DL)*, é uma subárea do aprendizado de máquina que utiliza redes neurais artificiais com múltiplas camadas ocultas, chamadas de redes neurais profundas, simulando a tomada de decisão humana de forma mais próxima. Diferentemente das redes clássicas, que possuem apenas uma ou duas camadas ocultas, essas redes apresentam dezenas ou até centenas de camadas, permitindo a extração automática de padrões complexos em grandes volumes de dados não estruturados e não rotulados. (IBM, 2024)

Segundo BADUGE *et al.*, (2022 *apud* SILVA, 2023), o aprendizado profundo é um subcampo do aprendizado de máquina focado em algoritmos compostos por múltiplas

camadas ocultas, geralmente baseados em redes neurais artificiais. Diferente dos modelos tradicionais de aprendizado de máquina, que utilizam camadas, os algoritmos de *DL* realizam a computação por meio de diversas etapas entre entrada e saída, permitindo a construção de representações complexas a partir de abstrações mais simples (BADUGE *et al.*, 2022; ILIN; WATSON; KOZMA, 2017).

Essa estrutura hierárquica de camadas é o que possibilita aos modelos de *DL* aprenderem a partir de dados brutos, adquirindo conhecimento gradualmente — desde conceitos elementares até representações mais complexas — o que torna o método especialmente eficiente em tarefas de alta complexidade (GOODFELLOW; BENGIO; COURVILLE, 2016).

Esse método possibilita o aprendizado não supervisionado, tornando viável a construção de modelos altamente eficientes sem a necessidade de intervenção humana. Isso torna o aprendizado profundo especialmente eficaz em tarefas como processamento de linguagem natural (PLN), visão computacional e reconhecimento de padrões em larga escala (IBM, 2024).

Além disso, a hierarquia de conceitos pode ser entendida como um grafo profundo, onde cada camada contribui para a construção de níveis superiores de entendimento, constituindo um elemento-chave do funcionamento e da capacidade dos algoritmos de *DL*, dando suporte a outras abordagens:

- a) **Aprendizado semissupervisionado**: combina dados rotulados e não rotulados;
- b) **Aprendizado autossupervisionado**: extrai rótulos a partir dos próprios dados;
- c) **Aprendizado por reforço**: utiliza tentativa e erro com base em recompensas;
- d) **Aprendizagem por transferência**: transfere conhecimentos adquiridos entre tarefas distintas.

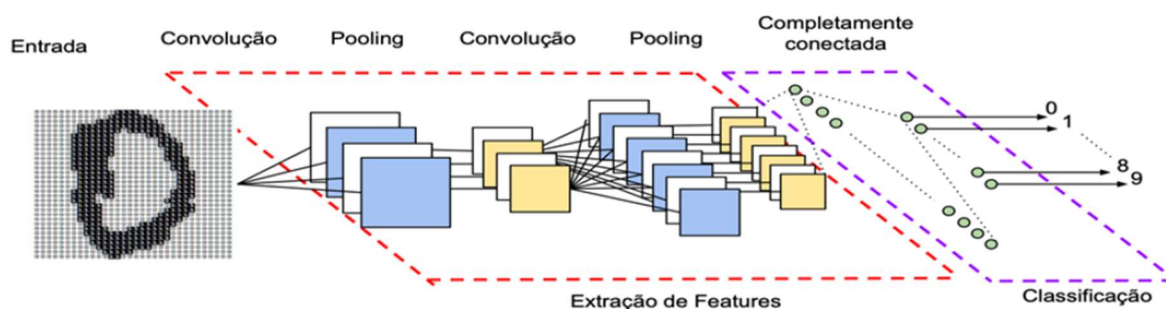
Dentro do *ML*, temos ainda outras subdivisões e subconjuntos, como as redes neurais. Neste trabalho, abrangearemos a Rede Neural Convolucional (do inglês *Convolutional Neural Network* - *CNN*) e seus subconjuntos.

### 2.5.2.3 Redes Neurais Convolucionais

As Redes Neurais Convolucionais (*CNN's*) são arquiteturas de aprendizado profundo inspiradas no sistema visual biológico, especialmente eficazes para tarefas de classificação, detecção e reconhecimento em imagens e vídeos. São amplamente utilizadas em aplicações de visão computacional e processamento de linguagem natural (SULTANA; SUFIAN; DUTTA, 2018; GHOSH *et al.*, 2020; VARGAS; PAES; VASCONCELOS, 2016 *apud* SILVA, 2023).

Também conhecidas como *ConvNets*, são arquiteturas profundas do tipo *feed-forward* capazes de aprender representações altamente abstratas, especialmente eficazes para identificar padrões espaciais em imagens. Essas redes são compostas por camadas de convolução e *pooling*, seguidas por camadas totalmente conectadas e uma camada final de classificação, conforme esquema ilustrativo da figura 9. As primeiras camadas extraem características de baixo nível, enquanto as mais profundas aprendem abstrações mais complexas (SULTANA; SUFIAN; DUTTA, 2018; GHOSH *et al.*, 2020 *apud* SILVA, 2023).

**Figura 9** – Construção de Rede Neural Convolucional e subconjuntos



**Fonte:** VARGAS, PAES e VASCONCELOS (2016) *apud* SILVA (2023)

As *CNN's* operam por meio de conexões entre unidades de um mapa de características e campos receptivos da camada anterior. O novo mapa é obtido por convolução da entrada com os filtros (kernels), seguida da aplicação de uma função de ativação não linear. A camada de pooling ou subamostragem reduz a dimensionalidade da saída convolucional, diminuindo a quantidade de parâmetros do modelo e promovendo invariância a translações. A camada convolucional é o componente central da *CNN*, responsável por aprender representações a partir de filtros que extraem mapas de características. Essa abordagem é eficaz, pois assume

que padrões semelhantes podem ocorrer em diferentes regiões da imagem (VARGAS; PAES; VASCONCELOS, 2016; GHOSH *et al.*, 2020; SULTANA; SUFIAN; DUTTA, 2018 *apud* SILVA, 2023). Derivados das CNN's ainda existem outros subconjuntos (figura 10), como é o caso da visão computacional.

**Figura 10** – Inteligência Artificial e seus subconjuntos



Fonte: Adaptado de MONDAL (2020 *apud* SILVA, 2023).

#### 2.5.2.4 Visão Computacional

A visão computacional aplica técnicas capazes de simular a cognição humana, com o objetivo de interpretar imagens e auxiliar na tomada de decisões frente a problemas complexos (PEDRINI; SCHWARTZ, 2008, *apud* MELO JÚNIOR *et al.*, 2018). Segundo SZELISK (2010 *apud* SILVA, 2023), a visão computacional visa compreender o conteúdo visual e transformá-lo em dados úteis que possam apoiar decisões automatizadas ou semiautomatizadas em diversos domínios, como segurança, medicina, agronomia e engenharia.

Com os avanços do aprendizado de máquina (*machine learning*) e, principalmente, das técnicas de aprendizado profundo (*deep learning*), a visão computacional passou a ocupar um papel central em aplicações que demandam o reconhecimento de padrões complexos. Entre as arquiteturas mais utilizadas destaca-se a Rede Neural Convolutiva, amplamente adotada para tarefas de classificação de imagens, detecção de objetos e segmentação semântica (GHOSH *et al.*, 2020; NATH; BEHZADAN; PAAL, 2020 *apud* SILVA, 2023).

De acordo com STAFFA *et al.*, (2020), a aplicação da visão computacional em conjunto com técnicas de processamento de imagens possibilita a detecção automatizada de falhas em telhados, paredes e revestimentos, inclusive em edificações históricas, utilizando imagens captadas por drones ou câmeras

convencionais. Essa abordagem tem potencial para aprimorar significativamente a prática da assistência técnica e da conservação preventiva uma vez que busca replicar a capacidade do ser humano de extrair informações visuais e convertê-las em ações ou diagnósticos, (PEDRINI; SCHWARTZ, 2008, *apud* MELO JÚNIOR *et al.*, 2018)

Além disso, estudos como o de SILVEIRA, MELO e COSTA (2020) *apud* STAFFA *et al.*, (2020) propõem protocolos para planejamento de coleta de dados e uso de sistemas de visão computacional como ferramenta de apoio ao mapeamento e diagnóstico de patologia construtiva. Tais ferramentas, quando integradas a plataformas de inteligência artificial, como o *Microsoft Custom Vision*®, têm se mostrado eficazes para classificar anomalias com precisão, mesmo a partir de bancos de imagens reduzidos (SILVA, 2023).

#### **2.5.2.5 Aplicações da Inteligência Artificial em Patologia das Edificações**

O uso da inteligência artificial (IA) no campo da engenharia diagnóstica tem se expandido significativamente nas últimas décadas. De acordo com a IBM (2024), a IA já ocupa papel central em tarefas como classificação visual, análise preditiva e detecção de padrões em setores como saúde, segurança e infraestrutura, demonstrando alto potencial de adaptação a contextos técnicos diversos, incluindo o setor da construção civil.

Na área de patologia das construções, a aplicação de algoritmos de visão computacional tem possibilitado avanços importantes no diagnóstico de manifestações como fissuras, destacamentos, umidade e eflorescências. As redes neurais convolucionais (*CNN*'s), por exemplo, destacam-se pelo desempenho em tarefas de segmentação e classificação de imagens de superfícies degradadas.

No contexto brasileiro, STAFFA *et al.*, (2020) aplicaram técnicas de visão computacional ao monitoramento de telhados históricos e obtiveram resultados expressivos na automatização da detecção de falhas superficiais. Os autores destacam que a utilização de modelos computacionais reduz significativamente a

subjetividade das análises visuais e permite ampliar a escala de inspeções, especialmente em edifícios com difícil acesso físico.

Outro estudo relevante é o de SILVA (2023), que utilizou classificadores supervisionados treinados com bancos de dados reduzidos de imagens de fachadas. Os resultados evidenciaram que, mesmo com conjuntos limitados de dados, é possível atingir bons níveis de precisão, o que demonstra a viabilidade do uso da IA em cenários com restrições operacionais.

A tabela 10 apresenta uma síntese dos estudos analisados na revisão sistemática conduzida por SILVA (2023), com foco na aplicação de técnicas de inteligência artificial e seus subconjuntos no diagnóstico de manifestações patológicas em edificações. Os trabalhos foram organizados conforme a técnica empregada e avaliados quanto às suas aplicações e principais limitações.

**Tabela 10** – Aplicações de IA no diagnóstico de manifestações patológicas em edificações

<b>Técnica aplicada</b>	<b>Referência</b>	<b>Descrição da aplicação</b>	<b>Desempenho reportado</b>	<b>Principais limitações</b>
<b>Classificação</b>	Castagno e Atkin (2018); Yeum <i>et al.</i> , (2019); Liu <i>et al.</i> , (2020); Kim <i>et al.</i> , (2021)	Classificação de fissuras, borrões, corrosões e tipos de telhado (uso de CNNs)	83,3% (ResNet); 83,1% (Inceptionv3)	Foco em uma única manifestação; não aplicável a múltiplos danos simultâneos
	Luo <i>et al.</i> , (2021)	Classificação de quatro tipos de corrosão metálica	80,8% a 92,4% (PADENet)	Estudo restrito a corrosão metálica
	Bouzan <i>et al.</i> , (2021)	Classificação de fissuras, eflorescência, ferrugem, armadura exposta (uso de Random Forests)	Aprox. 70% (fissuras, eflorescência); 50% (armadura exposta)	Baixa precisão para armadura exposta; não cobre múltiplas manifestações
	Otoni, Novo e Costa (2022)	Classificação de telhados com calhas limpas/sujas (CNNs e hiperparâmetros)	Val. 100%; Teste 90% (CNN 12 camadas)	Avaliação limitada a calhas; não testado em outros elementos
<b>Detecção</b>	Dorafshan <i>et al.</i> , (2018); Oh, Ham e Lee (2021)	Comparação entre algoritmos heurísticos e DL na detecção de fissuras	Não informado	Foco exclusivo em fissuras; sem análise quantitativa (largura/comprimento)
	Kung <i>et al.</i> , (2021)	Detecção de eflorescência, trincas, fragmentação e desfiguração	91% (eflorescência); 86% (trincas); 98% (desfiguração)	Foco em quatro anomalias; outras não consideradas

	Vetrivel <i>et al.</i> , (2018); Ghosh <i>et al.</i> , (2020)	Detecção de regiões danificadas pós-desastre (terremotos, estruturas de concreto)	91% a 94% (precisão geral)	Sem foco direto em manifestações patológicas; apenas danos estruturais
	Ribeiro <i>et al.</i> , (2022); Draganić <i>et al.</i> , (2022)	Detecção de fissuras em fachadas com drones e ortofachadas	Não informado	Foco apenas em fissuras; ausência de outras anomalias
	Zhu <i>et al.</i> , (2021); Choi <i>et al.</i> , (2021); Jiang e Zhang (2020)	Detecção de fissuras com alta precisão em concreto (diversos ambientes)	Teste: 97,7% (acurácia); Treinamento: 99,7%	Alta acurácia, mas restrito a fissuras
<b>Segmentação</b>	Ellenberg <i>et al.</i> , (2016); Ayele <i>et al.</i> , (2020)	Segmentação para fissuras e ruídos em estruturas de pontes	Não informado	Aplicação limitada à detecção de fissuras
	Hoskere <i>et al.</i> , (2020); Bhowmick <i>et al.</i> , (2020)	Segmentação de materiais e fissuras em estruturas de aço e concreto armado	Não informado	Sem aplicação para manifestações patológicas diversas

Fonte: Adaptado de SILVA (2023)

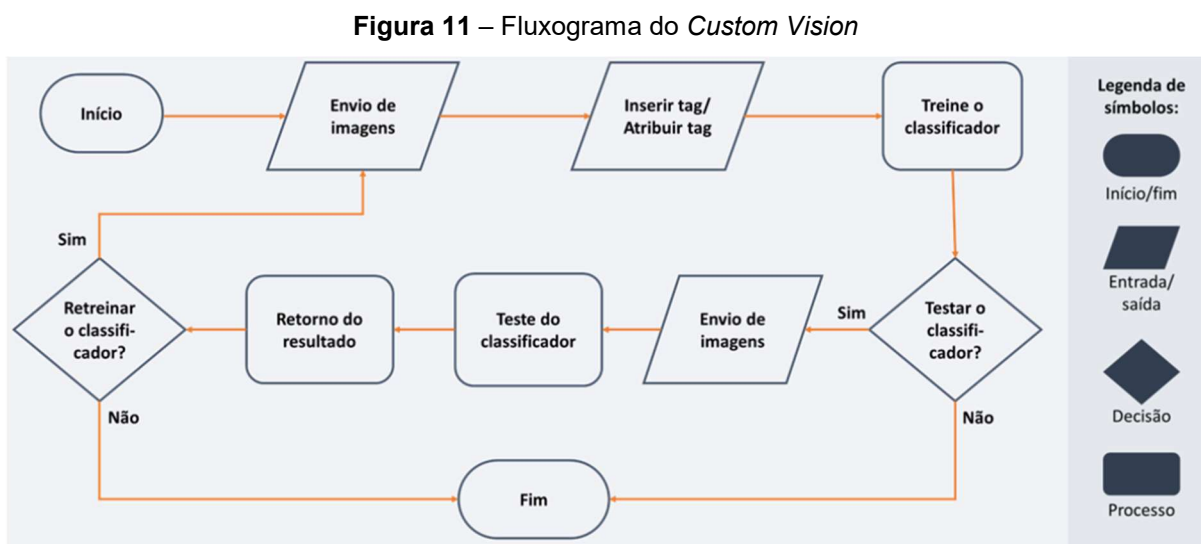
Os dados demonstram que, embora haja avanços significativos na acurácia dos modelos aplicados a fissuras e condições superficiais, há escassez de trabalhos voltados especificamente para edificações patrimoniais, o que reforça a relevância da presente pesquisa em propor a aplicação de uma solução acessível e adaptada a esse contexto.

Frente a esse panorama, ferramentas de uso acessível e com baixo requisito técnico vêm ganhando destaque. O *Microsoft Custom Vision*® é uma dessas ferramentas, permitindo ao usuário treinar modelos personalizados de classificação de imagens por meio de uma interface gráfica intuitiva, sem a necessidade de programação (Microsoft, s.d.), tendo sido utilizado como solução viável para contextos acadêmicos e técnicos com restrições de tempo, equipe ou infraestrutura computacional.

### 2.5.2.6 Inspeção automatizada das imagens

Para o processamento das imagens coletadas escolheu-se o serviço de visão personalizada chamado *Microsoft Custom Vision*® da *Azure Cognitive Services*. Esse software é uma *API* (interface de programação de aplicativo, do inglês *Application Programming Interfaces*) baseada no armazenamento em nuvem da Microsoft, que possibilita a rápida construção e prototipagem de classificadores de imagens usando algoritmos de aprendizado de máquina para rotular conjuntos de imagens e treinar

modelos (PEJČINOVIĆ, 2019; STAFFA *et al.*, 2020 *apud* SILVA, 2023). A Figura 11 apresenta um fluxograma proposto por KOEHRSEN (2018) de como o software funciona.



**Fonte:** Adaptado de KOEHRSEN (2018) *apud* SILVA (2023).

O *Custom Vision*® utiliza redes neurais pré-treinadas, permitindo classificação eficaz mesmo com pequenos conjuntos de dados, sendo recomendado pelo menos 50 imagens por classe rotulada para bons resultados. Destaca-se pela capacidade de exportar modelos treinados para a plataforma Azure e outras plataformas externas, ampliando sua aplicabilidade prática (ALI; ISHAK, 2020; AZURE, 2022 *apud* SILVA, 2023).

O desempenho dos modelos gerados pelo *Custom Vision* depende diretamente da qualidade das imagens, diversidade dos dados rotulados e quantidade adequada dos mesmos.

### 2.5.3 Treinamento e Avaliação de Modelos de *ML* e Subconjuntos

Para que algoritmos de aprendizado supervisionado tenham desempenho adequado em cenários reais, é essencial separar os dados em conjuntos de treino e teste. O modelo é treinado apenas com os dados de treino e, posteriormente, avaliado com os dados de teste, simulando situações com informações inéditas. Isso evita que o

modelo apenas memorize os dados, o que poderia comprometer sua capacidade de generalização para novos casos (GÉRON, 2019 *apud* SILVA, 2023). Porém, existem alguns problemas que podem ocorrer durante o treinamento, dois problemas comuns são o *Overfitting* e o *Underfitting*.

#### **2.5.3.1 Overfitting**

Ocorre quando o modelo aprende excessivamente os dados de treinamento, falhando em generalizar. Pode ser mitigado por técnicas como regularização e ajuste de parâmetros (DIETTERICH, 1995; GÉRON, 2019 *apud* SILVA, 2023). Ou seja, é quando o algoritmo aprende os dados de entrada durante os treinamentos e consegue reconhecer apenas os dados treinados, ao inserir novos dados durante os testes, ele não reconhece, como se o algoritmo tivesse apenas decorado os dados de treinamento.

#### **2.5.3.2 Underfitting**

Ocorre quando o modelo não consegue aprender adequadamente, resultando em baixa performance mesmo nos dados de treinamento. Pode ser resolvido com modelos mais complexos ou ajustes de parâmetros (DIETTERICH, 1995; GÉRON, 2019 *apud* SILVA, 2023), ou seja, é quando o modelo tem um desempenho fraco ao classificar instâncias de treino e de teste. Isso demonstra que o modelo que está sendo utilizado não tem a capacidade necessária para aprender os 'sinais' que estão presentes nos dados.

### **2.5.4 Métricas de Avaliação de Desempenho de Modelos de ML**

A avaliação de desempenho dos modelos de aprendizado de máquina (ML) é essencial e deve ser escolhida conforme o tipo de problema analisado. Diversas métricas são utilizadas para esse fim, destacando-se a Matriz de Confusão, Precisão, *Recall*, Acurácia, *F1 Score*, *IoU* e *mAP* como algumas das principais abordagens adotadas (JAPKOWICZ; SHAH, 2015; HANDELMAN *et al.*, 2019 *apud* SILVA, 2023).

No caso do *Custom Vision*, a API fornece automaticamente indicadores de desempenho como Precisão, *Recall* e Média da Precisão Média (*mAP*), permitindo avaliar a eficiência global do modelo e individual de cada classe rotulada. Outro indicador utilizado é o *F1 Score*, que busca equilíbrio entre a precisão e o recall. (ALI; ISHAK, 2020; AZURE, 2022; PEJČINOVIĆ, 2019; STACKOVERFLOW, 2022; PAPADOPOULOS; GONZALEZ, 2021 *apud* SILVA, 2023).

### 3 METODOLOGIA

A presente pesquisa adotou uma abordagem aplicada e exploratória, com delineamento qualitativo-quantitativo, fundamentada em estudo de caso único: a Igreja Matriz de São Tomé, localizada em São Tomé das Letras (MG), tombada pelo IEPHA-MG. O objetivo central foi investigar a aplicabilidade de técnicas de visão computacional no apoio ao diagnóstico de manifestações patológicas em bens históricos, com base em imagens obtidas por inspeção visual.

#### 3.1 Procedimentos Metodológicos

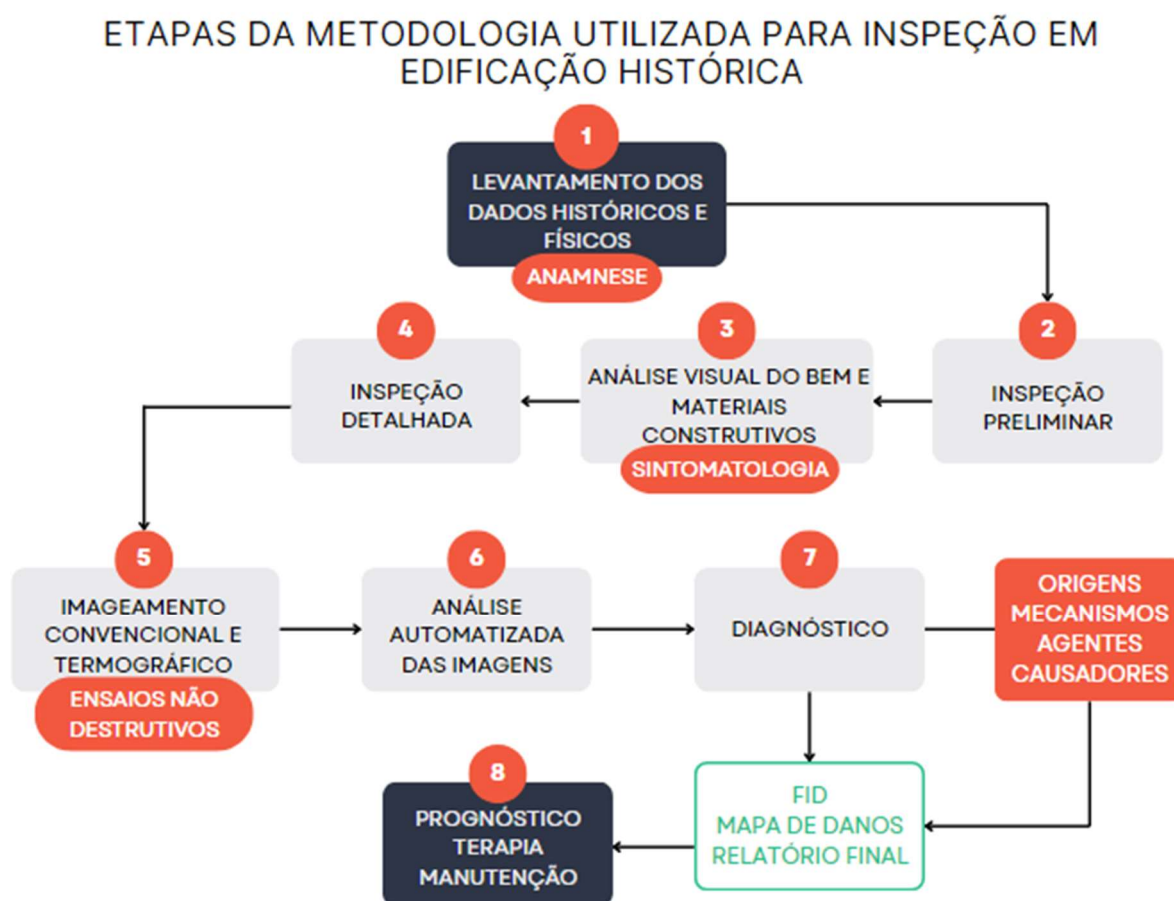
O método adotado estruturou-se em oito etapas, conforme o fluxograma apresentado na Figura 12:

1. Anamnese: levantamento de dados históricos, arquitetônicos e físicos da edificação, com base em pesquisa documental, entrevistas com responsáveis legais e consulta a registros técnicos e normativos (BOLINA *et al.*, 2019).
2. Inspeção Preliminar: avaliação visual das fachadas e elementos internos da edificação com registro da tipologia construtiva e identificação preliminar de sintomas patológicos. Nesta etapa, elaborados croquis para marcação das manifestações (ROCHA, CARNEIRO e MONTEIRO, 2023)
3. Inspeção Detalhada e mapeamento por imagens das manifestações patológicas: coleta de imagens com câmera convencional e câmera termográfica, registrando todas as manifestações visíveis.
4. Organização e Classificação das Manifestações: separação das imagens em classes conforme os tipos de manifestações predominantes.
5. Elaboração da Ficha de Inspeção de Danos (FID) e do Mapa de Danos: sistematização dos achados conforme recomendações da NBR 16747 (ABNT, 2020) e diretrizes do IEPHA-MG.
6. Inspeção Automatizada com IA: treinamento de modelos com o *Microsoft Custom Vision*®, utilizando banco de imagens com dados rotulados.
7. Diagnóstico Integrado: análise das manifestações patológicas considerando os resultados da inspeção convencional e os *outputs* da IA. O diagnóstico seguiu

a abordagem de ROCHA, CARNEIRO e MONTEIRO (2023), invertendo a lógica tradicional da FID e mapa de danos: primeiro obtém-se o diagnóstico, depois realiza-se os produtos com uso do mapeamento preciso, integrando-os à entrega final.

8. Prognóstico e Recomendações: com base no diagnóstico, propõem-se orientações para preservação e intervenções corretivas, alinhadas às boas práticas de conservação do patrimônio histórico (ABNT - NBR 15575, 2024; ICOMOS, 2011).

**Figura 12** – Metodologia seguida no estudo de caso



**Fonte:** Do autor, 2025.

A escolha da ferramenta de inteligência artificial para fins de visão computacional *Microsoft Custom Vision*® justifica-se pela acessibilidade, interface intuitiva e compatibilidade com abordagens supervisionadas em bancos reduzidos, conforme validado por SILVA (2023).

### 3.1 Apresentação do Objeto em Estudo

A representante do patrimônio histórico escolhida para o estudo de caso foi a “Igreja Matriz de São Tomé” (Figura 13), localizada em São Tomé das Letras, Minas Gerais.

A Igreja Matriz de São Tomé, localizada na Praça Barão de Alfenas, no centro de São Tomé das Letras, é um exemplar significativo da arquitetura religiosa colonial mineira, datada da segunda metade do século XVIII. A edificação constitui um bem de valor histórico, artístico e cultural elevado, tanto pelo seu conjunto arquitetônico quanto pelas obras integradas que abriga (ATLANTES ATELIÊ DE RESTAURO E PATRIMÔNIO, 2019)

**Figura 13** – Igreja Matriz de São Tomé da Letras, Minas Gerais, Brasil



**Fonte:** Do autor, 2025.

Tombada a nível estadual pelo IEPHA (Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais) em 1985, tendo sido homologado corretamente em 1996, no Livro I do Tombo Arqueológico, Etnográfico e Paisagístico, no Livro II do tomo de Belas Artes, no Livro III do tomo Histórico, das Obras de Arte Históricas e dos Documentos Paleográficos ou Bibliográficos e no Livro IV do tomo de Artes Aplicadas (IEPHA, 2016).

Destaca-se não só pela sua história (Século XVIII), remetendo à instalação do “vilarejo de São Tomé”, como também por sua tipologia construtiva de forma vernacular, sendo erguida com rochas de quartzito extraídas no município (de nome comercial “Pedra

*São Thomé*”) e assentadas pela sobreposição de pedra sobre pedra, sem uso de aglomerantes (D’AURIA, 2023), consolidando-se como marco religioso, cultural e identitário da cidade.

Localizada à Praça Barão de Alfenas, no Centro do município de São Tomé das Letras, conforme figura 14, a construção da Igreja Matriz de São Tomé teve início por volta da segunda metade do século XVIII, impulsionada pela fundação da freguesia local e pelo crescimento do povoado de São Tomé, no sul de Minas Gerais. Acredita-se que a edificação tenha sucedido uma ermida primitiva, erguida próxima à Gruta de São Tomé, local simbólico e de grande valor cultural e religioso (ATLANTES ATELIÊ DE RESTAURO E PATRIMÔNIO, 2019).

**Figura 14** – Localização do estudo de caso



**Fonte:** Google Earth, 2025.

Seu acesso principal se dá por escadaria em pedra que conduz ao adro, delimitado por muro de alvenaria. A fachada frontal exhibe elementos característicos do período, como o frontão com elementos em “S” e janelas de peitoril entalhado do coro. É ladeada por torres sineiras levemente recuadas em relação ao corpo da nave. Internamente, destaca-se pela riqueza ornamental e iconográfica (Atlantes Ateliê de Restauro e Patrimônio, 2019).

### 3.1.1 Importância Histórica e Caracterização do Local

São Tomé das Letras destaca-se por sua importância histórica, cultural e simbólica no contexto regional. Localizada no sul de Minas Gerais, no alto de uma serra com aproximadamente 1.290 metros de altitude.

Há muitos mistérios envolvendo suas origens, bem como as pinturas rupestres encontradas em diversas grutas e tocas do município, que alguns estudos arqueológicos atribuem a milhares de anos atrás, o que coincide com a peregrinação do Apóstolo Tomé - elemento que alimenta lendas locais e a identidade religiosa do município, e também da passagem dos índigenas Cataguases pela região onde o município está inserido, havendo ainda relatos lendários sobre outras possíveis influências pré-colombianas (IEPHA-MG, 1984 e Atlantes Ateliê de Restauro e Patrimônio, 2019).

Durante o período colonial, a região tornou-se rota de abastecimento para os centros mineradores em declínio, sendo ocupada por fazendas e estâncias ligadas à agropecuária e ao comércio. Entre os principais nomes envolvidos nesse processo está o do português João Francisco Junqueira, responsável por fundar as Fazendas Campo Alegre e Favacho, além de financiar a construção da primitiva ermida que originaria a atual Igreja Matriz (IEPHA, 1984).

A história do município remonta ao século XVIII e a referência mais antiga da existência do povoado data de 1759, em um livro de óbitos do município de Baependi/MG, que consta uma nota de falecimento de uma criança residente do bairro de São Tomé - que à época era distrito de São João del Rei, mas devido a proximidade à Baependi, fora transferida como distrito desta posteriormente (Atlantes Ateliê de Restauro e Patrimônio, 2019)

Já a história documentada inicia-se por volta de 1770, com a solicitação do Padre Francisco Alves Torres - um afamado jesuíta que se tornou eremita na “Serra das Letras”, ao Bispado de Mariana para a construção da Ermida dedicada a São Tomé, próxima à gruta que leva o mesmo nome e possui inscrições rupestres abstratas de coloração vermelha, figura 15, possivelmente de origem neolíticas, sugerindo

características simbólicas e morfológicas, fonte da origem do nome do povoado local “Serra das Letras” (IEPHA-MG, 1984).

**Figura 15** – Pinturas rupestres encontradas na Gruta São Tomé



Fonte: Google Fotos, 2025.

O nome da cidade também está associado à devoção a São Tomé, tradicionalmente ligado à lenda, como à da imagem deste apóstolo deixada por um jesuíta fugitivo na gruta local, embora essa versão não possua embasamento histórico comprovado (D'AURIA, 2023).

Ao longo do século XIX, o arraial permaneceu com poucas atividades econômicas, uma população reduzida e vida pacata. Em 1837, São Thomé ainda era subordinado à Vila de São João del Rei e passou por sucessivas transferências administrativas até o desmembramento do município, tendo pertencido a Carrancas, depois Lavras e, finalmente, Baependi, em 1840, quando foi elevada a freguesia e distrito (IEPHA-MG, 1984 e PMSTL, 2025).

Já durante o século XX, especialmente após os anos 1950, a extração comercial de pedras tornou-se a principal atividade econômica, levando ao aumento populacional. A economia do município era predominantemente baseada na extração mineral, com pedras exportadas para outras regiões do Brasil e também para o exterior, seguida da produção agrícola e agropecuária e do turismo (IEPHA-MG, 1984).

O movimento pela emancipação política ganhou força na década de 60. Líderes locais, como José Cristiano Alves, foram fundamentais para a conquista do título de município, oficializado em 1º de março de 1963 (PMSTL, 2025).

Conforme os dados mais recentes do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), referentes ao Censo Demográfico de 2022, o município de São Tomé das Letras, localizado no estado de Minas Gerais, possui uma população de 6.904 habitantes e área territorial de 369,747 km<sup>2</sup>, resultando em uma densidade demográfica de 18,67 habitantes por km<sup>2</sup>.

O município se transformou em um potente destino turístico com a retomada e fortalecimento da sua tradição religiosa, mística, cultural e natural, figura 16. Esse conjunto atrai visitantes o ano todo, contribuindo para o desenvolvimento local, mas também provocando desafios na preservação da sua identidade cultural e paisagem urbana devido à dualidade de suas principais atividades econômicas atuais - mineração e turismo, que muitas vezes entram em conflito pelos impactos ambientais da primeira e a necessidade de preservação ambiental exigida pela segunda (IEPHA-MG, 1984 e D'AURIA, 2023).

**Figura 16** – Imagem aérea com foco na igreja matriz e demais pontos turísticos



Fonte: Google Fotos, 2025.

Essas questões apontam para a necessidade de ações coordenadas para o desenvolvimento sustentável da cidade, preservando o patrimônio histórico e natural, e garantindo condições econômicas e sociais favoráveis para sua população.

Fora realizado também o levantamento do clima no local, com base no Diagnóstico Urbano Territorial elaborado pela empresa IGTECH para os estudos de atualização do Plano Diretor do município (2024), o regime pluviométrico dos canais hidrográficos que passam pelo município tem acumulado anual médio de 1.451mm. Quanto aos volumes de precipitação, os maiores ocorrem entre os meses de dezembro e fevereiro (cerca de 934mm), e julho e agosto sendo os meses mais secos (média de 15mm/mês). A temperatura média anual é de 20°C, com junho e julho sendo os meses mais frios (média de 8°C) e janeiro e fevereiro, os mais quentes (média máxima de 29°C), estes dados foram levantados com base nos dados fornecidos pelo INMET.

De acordo com MARQUES NETO (2007) e SILVA e FONSECA (2016) *apud* IGTECH (2024), o clima vigente na região é o tropical de altitude, caracterizado por verão úmido e moderadamente quente e inverno relativamente frio e seco, apresentando temperaturas mais amenas em relação ao clima tropical típico do sudeste brasileiro.

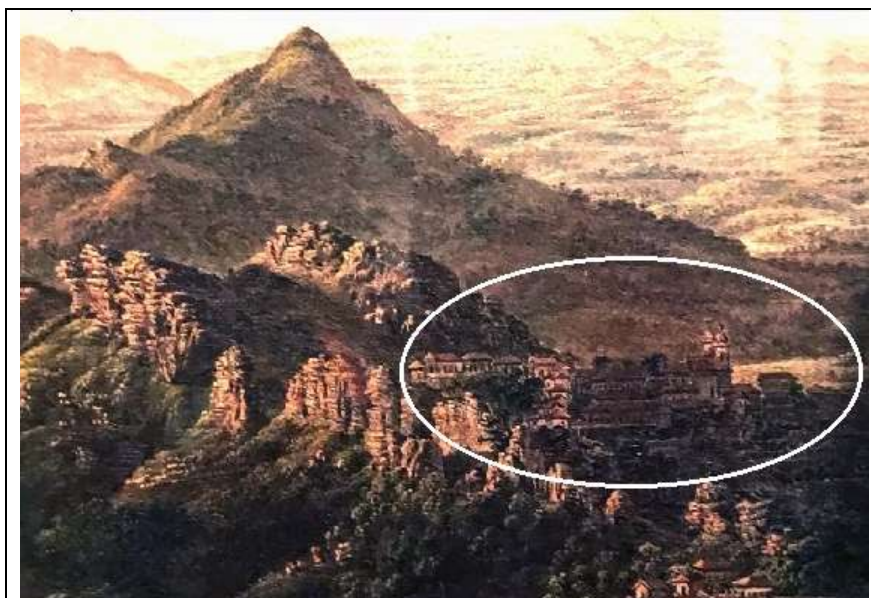
### **3.1.2 Descrição da Igreja**

A construção da Igreja Matriz de São Tomé teve início por volta da segunda metade do século XVIII, impulsionada pela fundação da freguesia local e pelo crescimento do “*povoado de São Tomé*”. Acredita-se que a edificação tenha sucedido uma ermida primitiva, erguida próxima à Gruta de São Tomé, local simbólico e de grande valor cultural e religioso (IEPHA, 2016).

A nave e a capela-mor da igreja foram concluídas entre 1770 e 1785. Por volta de 1800, foi construída a sacristia (hoje Capela do Santíssimo), e, em 1824, relatos do Bispado de Mariana já descreviam a igreja como finalizada, com talhas entalhadas e pintura de forros. A Capela do Senhor dos Passos foi provavelmente adicionada em meados do século XIX (Atlantes Ateliê de Restauro e Patrimônio, 2019).

A figura 17 representa um detalhe da pintura de Nicolau Facchinetti - um pintor, desenhista e professor ítalo-brasileiro do século XIX, datada de 1876, onde é possível verificar a construção da Capela de São Tomé juntamente com algumas residências do 'Arraial de São Tomé' ou "Serra das Letras".

**Figura 17** – Detalhe da pintura de Facchinetti retratando o povoado de São Tomé



**Fonte:** *Picturing the Americas* apud *São Tomé Online*, 2024.

Ao longo do século XX, a edificação passou por acréscimos e modificações, incluindo a construção do salão paroquial, substituições de materiais após danos estruturais e intervenções controversas no revestimento externo (Atlantes Ateliê de Restauro e Patrimônio, 2019).

Ocorreram alterações como o acréscimo do salão paroquial e troca de pisos, datadas de 1929 e da atual Sacristia, datada de 1950. O fundo da ermida fora atingido por um raio, que destruiu este e o salão paroquial (atualmente utilizado como salas de catequese), o qual fora reconstruído em 2004 após liberação do IEPHA.

Além disso, ao reconstruir o fundo da igreja, houve a troca de parte de seu sistema constituinte de pedras para tijolos maciços.

Outra recente alteração foi a troca do reboco da fachada lateral direita para cimento, conforme figura 18, processo que foi embargado pelo IEPHA-MG em 2016, mas, para garantir a conservação do bem, fora liberado para finalização após alguns anos.

Mesmo com a presença de alterações sofridas ao longo dos anos em seu conjunto arquitetônico, isto não afetou a integridade de suas características históricas.

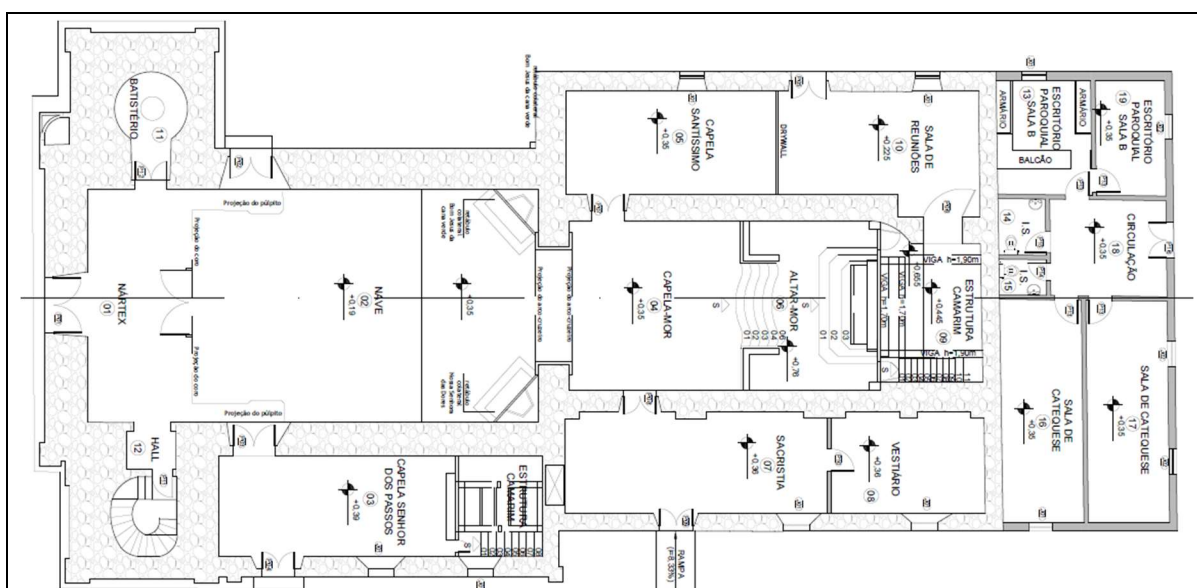
**Figura 18** – Detalhes de intervenções na igreja



**Fonte:** Do autor, 2025 e Google Earth, 2017.

O conjunto arquitetônico atual da igreja é composto por seis corpos principais, capela-mor; nave; capela de Nosso Senhor dos Passos; capela do Santíssimo; Sacristia e salas de catequese (antigo salão paroquial), com destaque para suas torres sineiras, o frontão recortado, as talhas rococó e o forro pintado, atribuído ao artista Joaquim José da Natividade, e ainda o batistério e mezanino acima do *nártex* (entrada da igreja) figura 19.

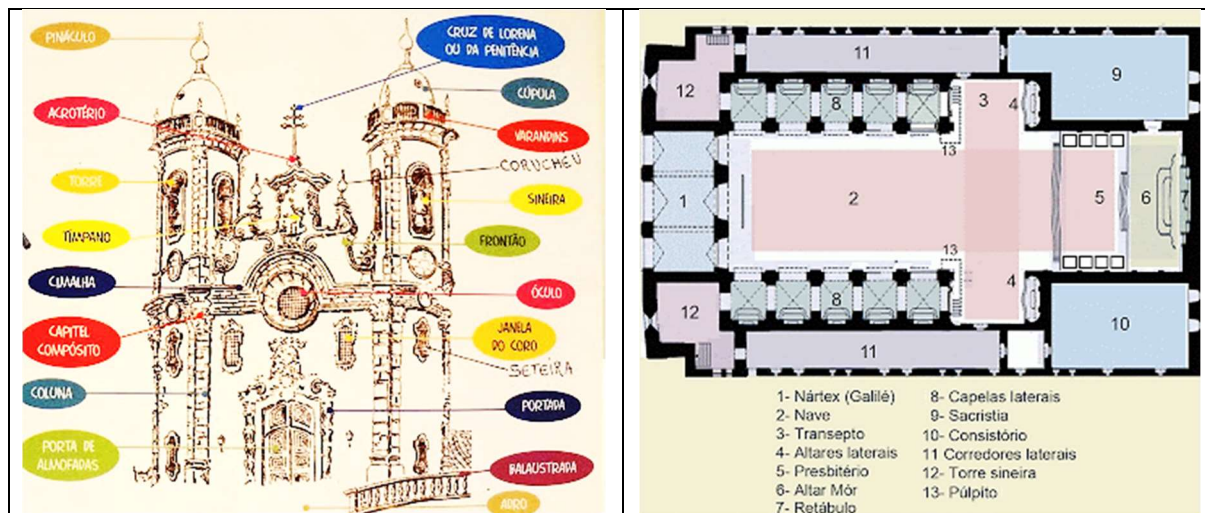
**Figura 19** – Planta baixa da Igreja



**Fonte:** Adaptado de Atlantes Ateliê de Restauro e Patrimônio, 2019.

A figura 20 apresenta as nomenclaturas utilizadas para as partes constituintes das igrejas e suas localizações.

**Figura 20** – Nomenclaturas e localizações das partes constituintes de igrejas



Fonte: Adaptado de “São João del Rei – A terra do Barroco”, 2013.

A edificação apresenta a seguinte composição: estrutura da capela-mor, nave, batistério e capela de Nosso Senhor dos Passos em pedras, estrutura dos demais corpos constituintes em tijolo maciço, ornamentação e forros em madeira, revestimento interno liso, composto de argamassa de barro e cal com pintura látex branca e revestimento externo em barro e cal e pintura látex amarela com detalhes em branco. Internamente, destaca-se especialmente pela riqueza ornamental rococó e pela excelência das pinturas dos seus forros, com obras do artista colonial Joaquim José da Natividade, considerado de relevância significativa para a história da arte colonial brasileira (IEPHA-MG, 1984).

A síntese das intervenções sofridas ao longo do tempo no bem imóvel é apresentada na tabela 11, com levantamento realizado pela equipe técnica do Atlantes Ateliê de Restauro e Patrimônio para o projeto de restauro e laudo técnico contratado pela Mitra Diocesana da Campanha - Paróquia São Tomé (2019) e constando as informações até o ano de 2015 e as demais intervenções adicionadas com base no levantamento realizado para este estudo de caso, levando em consideração documentos oficiais da prefeitura, COMPHAST (Conselho Municipal de Patrimônio Histórico e Artístico de São Tomé), DECULP (Departamento Municipal de Cultura e Patrimônio do município de São Tomé das Letras) e entrevistas com o pároco responsável pela igreja, Padre Robson Leite.

Tabela 11 – Linha do tempo da Igreja São Tomé

<b>Linha do Tempo da Construção e Intervenções</b>	
1759	Referência mais antiga ao povoado de São Tomé das Letras.
23 de março de 1770	Expedida licença para ereção da primitiva capela de São Thomé das Letras, obra do Padre Francisco Alves Torres.
16 de agosto de 1771	Expedida autorização de funcionamento dessa primitiva capela.
1785	Início da construção da matriz, ou pelo menos de conclusão de sua fachada (data gravada acima da portada), cujo patrimônio teria sido formado por doações de João Francisco da Junqueira.
1824	Segundo relato de Frei José de Santíssima Trindade, nesse ano a Igreja de São Tomé já se encontrava concluída, faltando apenas as pinturas dos forros.
Anos 1830	Realização das pinturas dos forros da nave, da capela-mor e do <i>nartex</i> , do arco cruzeiro e das paredes pelo artista são-joanense Joaquim José da Natividade.
1835	Instalação do sino mais antigo ainda presente na matriz.
09 de março de 1840	Criação da Paróquia de São Tomé das Letras e elevação da igreja a matriz.
1849	Instalação do segundo sino mais antigo ainda presente na matriz.
Anos 1845-76	Reformulações na matriz, com a fatura e pintura do barrado e o fechamento do adro.
1874-84	Instalação do outro sino ainda presente na matriz, fundido em Campanha/MG em 1874; Construção da Capela do Senhor dos Passos em alvenaria de tijolos e realização das pinturas de seu forro e de suas paredes.
1875	Confecção da pintura do Barão de Alfenas em homenagem aos oito anos de seu falecimento.
1929	Grande reforma da matriz (data também gravada acima da portada): - troca completa do telhado; - instalação da cobertura em azulejos brancos das torres (atribuído); - inclusão de elementos ecléticos nas fachadas externas, como frisos e os beirais em relevo; - as alvenarias de pedra nas bases das colunas e as cantarias das arcadas das janelas e portas foram cobertas com massa; - instalação do relógio, doado pelo senhor Bento Ferreira Leite, no antigo óculo central do frontispício; - construção do Salão Paroquial na parte posterior da matriz em alvenaria de tijolo (atribuído).
1949-50	Reforma da matriz sem especificação da extensão das intervenções.
Anos 1960	Instalação dos pisos cerâmicos em substituição ao piso de tábuas corridas na maioria dos cômodos da matriz; Reparo do telhado; Instalação da mesa do altar, trazida do retábulo da Capela dos Passos; Retirada dos camarotes nas laterais do <i>nartex</i> ; Retirada da iluminação por carbureto que existia da matriz.
1962	Emancipação político-administrativa de São Thomé das Letras.
1964	Queda de um raio destrói a empena do telhado da capela-mor, sendo reconstruída nesse mesmo ano (brasão rememorativo na fachada externa posterior).
1970-72	Reforma no telhado da matriz; Instalação de energia elétrica na matriz oriunda de um gerador comprado pela paróquia; Reformulação do adro da matriz, com mudança nas lápides e construção da Praça Barão de Alfenas.
1973	Instalação do abastecimento de água e da rede elétrica na matriz.
1977	Reforma dos telhados laterais.
Anos 1980	Início da atuação do IEPHA/MG no município.

1985-86	Tombamento do Conjunto do Rosário; Primeira restauração da matriz realizada pelo IEPHA: - trabalhos nos forros da nave e da capela-mor, nos retábulos, e nas pinturas do forro e das paredes da Capela dos Passos; Essa restauração foi interrompida antes da previsão inicial.
1989-90	Grandes intervenções realizadas pelo Padre Reni: - demolição do Salão Paroquial; - cobertura das pinturas em cortinado do arco-cruzeiro; - intervenção nos forros da nave e da capela-mor; - substituição das escadas da torre e do coro por alvenaria de tijolo; - mudança de lugar das balaustradas da capela-mor; - Instalação das vidraças nos óculos laterais e nas sacadas da fachada principal.
04 de março de 1991	Roubo da imagem do padroeiro original.
1997	Substituição da porta tapa-vento pela atual.
2004-05	Reconstrução do Salão Paroquial; Inclusão do tablado na capela-mor;
2015	Intervenção no reboco da parede externa do lado do cemitério. Obra foi embargada pelo IEPHA/MG.
2019~2021	Reconstrução do telhado, finalização do reboco externo (liberação do IEPHA), revitalização das fachadas e da pintura interior da capela-mor e nave da igreja.
2022~2023	Reposição e troca de parte do piso constituinte da nave da igreja que fora indicado no projeto de restauro como necessário.
2024~2025	Restauro do altar-mor da igreja

**Fonte:** Adaptado de Atlantes Ateliê de Restauro e Patrimônio (2019) e do autor (2025).

## 3.2 Estudo de Caso

### 3.2.1 Caracterização das tecnologias utilizadas na aquisição de dados

Os equipamentos utilizados neste estudo para a aquisição dos dados foram o uso de câmera de celular e de câmera termográfica para registro das manifestações patológicas e posterior utilização das imagens convencionais para o uso nos modelos gerados com IA.

Suas características são apresentadas no quadro 2 onde também são descritas as ferramentas auxiliares a estes, como aplicativos para visualização das imagens.

**Quadro 2** – Equipamentos utilizados no estudo

<b>EQUIPAMENTO</b>		
<b>MARCA</b>	APPLE	FLIR
<b>LINHA/MODELO</b>	Iphone 15	TG165-X
<b>CÂMERA (RESOLUÇÃO DE FOTO)</b>	48 MP (8000x6000 pixels)	4.800 pixels (80x60 pixels)
<b>ARMAZENAMENTO INTERNO</b>	128GB	50.000 fotos
<b>ARMAZENAMENTO EXTERNO</b>	Não possui.	Aceita Micro SD
<b>APLICATIVO PARA VISUALIZAÇÃO</b>	Qualquer visualizador de fotos.	Visualizador de fotos / FLIR Thermal Studio (Para tratamento das imagens)

**Fonte:** Do autor, 2025.

### 3.2.2 Desenvolvimento do Trabalho de Campo

Realizou-se a visita técnica na edificação histórica, situada na cidade de São Tomé das Letras, na região Sul do Estado de Minas Gerais, para as etapas de anamnese, inspeção visual, mapeamento por imagens, de maneira convencional e com uso de termografia, das manifestações patológicas presentes na igreja.

Estas etapas foram essenciais para compreender o processo construtivo da igreja, seu histórico por meio de documentos disponíveis e entrevistas com os responsáveis legais pelo bem imóvel, da Paróquia São Tomé e do Departamento Municipal de Cultura e Patrimônio Histórico, para assim, identificar os principais problemas do bem estudado, mapear o processo de levantamento e coletar imagens para a elaboração da ficha de inspeção de danos e posterior mapa de danos, bem como para os treinamentos na ferramenta de análise automatizada de imagens, conforme figura 12, do fluxograma com a metodologia adotada na inspeção da construção histórica.

O fluxograma possui etapas dependentes e que foram realizadas em paralelo. A primeira delas, de anamnese, onde conduziu-se o levantamento dos dados históricos e físicos, procedendo-se na catalogação de todos os dados da edificação, embasado por meio de pesquisas e entrevistas com os responsáveis ou interessados pelo imóvel, identificando o ano de sua construção, registros de intervenções, possíveis ampliações e manutenções, registros técnicos e tombamentos, para determinar as restrições municipais e normativas estaduais ou federais de proteção do bem.

A segunda etapa, de inspeção preliminar, fora realizada com a caracterização visual da edificação e de seus materiais construtivos, sendo listados os principais elementos utilizados na construção. Caso essa inspeção fosse insuficiente para caracterizar os materiais construtivos, ensaios complementares poderiam ser indicados nesta fase. Simultaneamente realizou-se um registro das informações relacionadas ao cadastro da edificação (localização, condições de exposição ambientais/climáticas, identificação de intervenções previamente realizadas e rotina de manutenções), a tipologia construtiva e os sintomas ou danos constatados na construção, com cada problema patológico marcado em um croqui elaborado para cada fachada inspecionada.

Durante o levantamento, procedeu-se também com as etapas 4 e 5, realizando a inspeção detalhada do imóvel procedendo com os ensaios não destrutivos, que neste caso, fora realizado por meio do mapeamento por imagens de toda a igreja e das manifestações patológicas encontradas com o uso de câmera convencional e câmera termográfica, conforme demonstrado na figura 21.

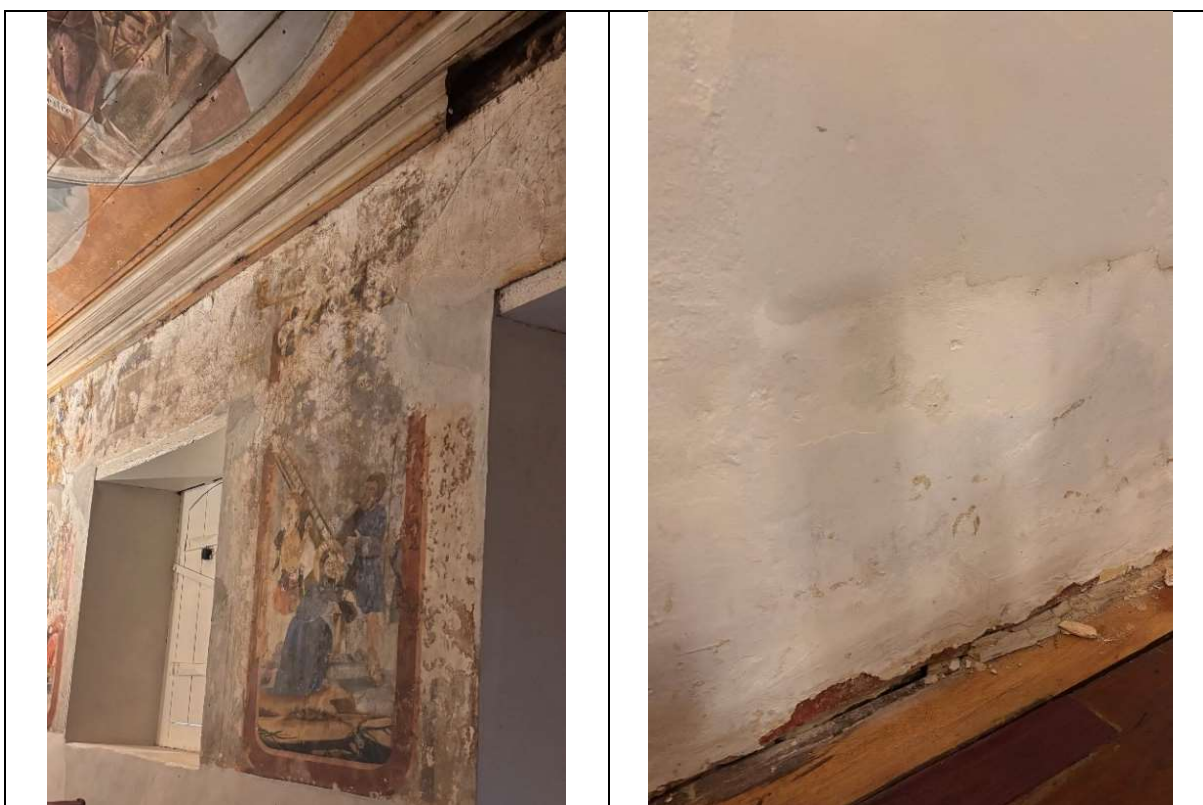
A etapa 6 foi acrescentada com o uso de inteligência artificial na análise automatizada das imagens do bem estudado, esta fase pode agilizar o processo de inspeção da edificação. Foi utilizado um banco de dados de imagens bem estruturado e modelos de IA treinados e validados, já realizada de forma automatizada com a categorização das manifestações patológicas presentes em cada uma. Esta etapa será melhor detalhada na próxima subseção deste trabalho.

Na sétima fase, a de diagnóstico, realizada para explicar as origens, mecanismos e agentes causadores das manifestações, seguiu-se a metodologia proposta por ROCHA, CARNEIRO e MONTEIRO (2023) de inverter a ordem de elaboração da FID

e do mapa de danos, para que os mesmos fossem embasados no diagnóstico preciso e no levantamento de informações mais precisas, compondo também as entregas do produto final. Finalizando com as etapas de prognóstico, terapia e manutenção, embasadas nos documentos elaborados.

Para o recorte do estudo de caso, utilizou-se todas as faces externas da igreja e na parte interna foram selecionadas a Capela do Senhor dos Passos e a Nave da igreja, por serem corpos constituintes da igreja que também apresentavam manifestações patológicas, conforme figuras 21. Tal recorte se fez necessário devido a impossibilidade de acesso à Capela-Mor e anexos adjacentes, por estarem interditados por ocasião de uma obra de restauro, conforme o projeto desenvolvido em 2019 pelo Atlantes Ateliê de Restauro e Patrimônio para a Paróquia de São Tomé e aprovado pelo IEPHA-MG.

**Figura 21** – Manifestações patológicas presentes no interior da igreja



Fonte: Do autor, 2025.

### 3.2.3 Análise dos danos e Diagnóstico de forma convencional

Apresenta-se a seguir os registros da inspeção realizada *in loco*. Para melhor organização para análise de danos, seguiu-se a divisão da edificação conforme

especificado anteriormente. Sendo apresentado no presente trabalho os resultados da parte externa.

Esta etapa fora realizada no dia 21/04/2025, tendo seu início por volta das 12h10 e finalizando por volta de 15h50. As condições climatológicas do local também foram levantadas por meio digital no início da inspeção, com condições parcialmente nubladas, temperatura média de 23°C, mínima de 15°C e máxima de 25°C.

A seguir são apresentados os resultados da inspeção realizada na parte externa da igreja.

### 3.2.3.1 Inspeção das fachadas

À partir da análise das figuras 22 e 23, verificou-se uma quantidade de anomalias originadas pela presença de umidade e poluição atmosférica, o que colabora para a deterioração junto à ação do tempo. As sujidades já se acumulam nas colunas e no frontão.

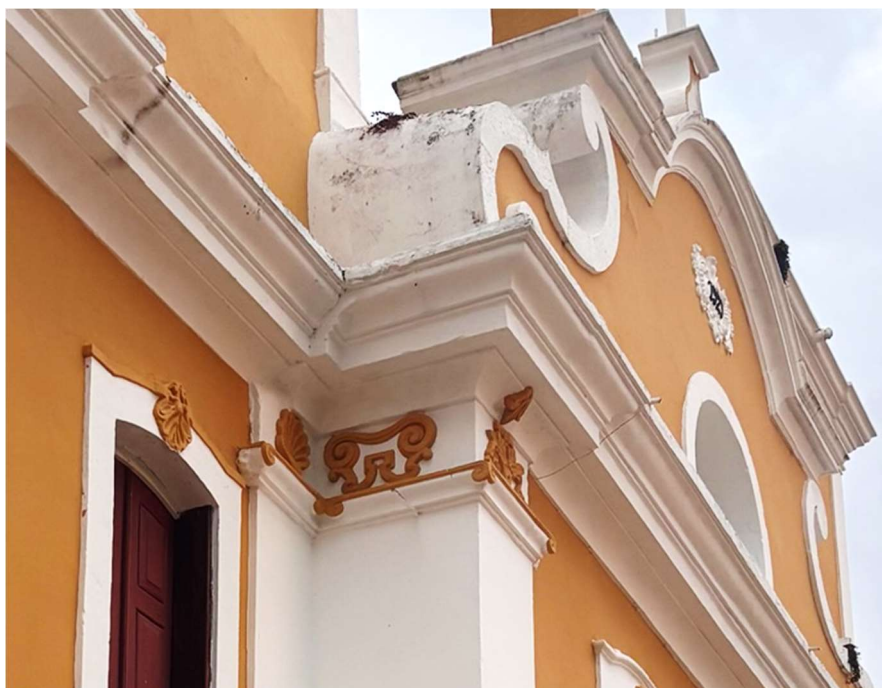
**Figura 22** – Anomalias e sujidades na fachada lateral direita da igreja.



**Fonte:** Do autor, 2025.

Como as águas das chuvas percorrem a fachada, manchas escuras e de umidade apareceram, facilitando a proliferação de fungos, aparecimento de sujidades e vegetação (indicando a presença de aves), que se acumulam na estrutura e contribuem para o processo de deterioração do bem.

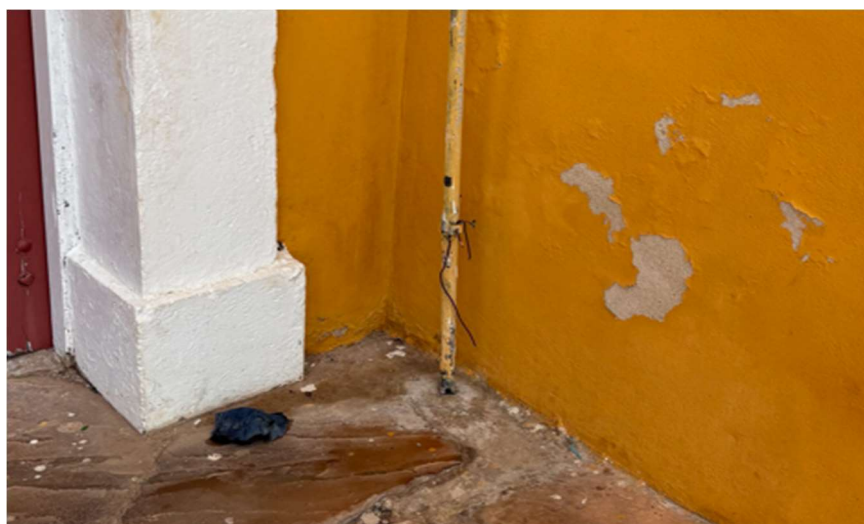
**Figura 23** – Detalhe das manchas, mofo e vegetação no frontispício.



**Fonte:** Do autor, 2025.

Na Figura 24, apresenta-se um detalhe de manchas de umidade da lateral direita, resultando em bolhas, destacamento de partes da pintura e exposição do reboco.

**Figura 24** – Detalhe das sujidades, destacamento e bolhas na pintura.



**Fonte:** Do autor, 2025.

Na parte inferior esquerda da fachada frontal foi possível notar manchas de umidade, anomalias no reboco e pintura e a presença de vegetação, conforme figura 25.

**Figura 25** – Sujidade, umidade, irregularidades e vegetação na fachada frontal



**Fonte:** Do autor, 2025.

Ainda na fachada lateral direita, na parte externa, entre a capela do santíssimo e a antiga sala de catequese, verificou-se o vidro de uma das esquadrias quebrado, além de descascamento da pintura do batente da janela, conforme demonstrado na figura 26.

**Figura 26** – Vidro quebrado e descascamento da pintura na fachada lateral



**Fonte:** Do autor, 2025.

Verificou-se ainda manchas de umidade e sujeira na lateral direita da igreja, conforme figura 27.

**Figura 27** – Mancha de sujidade na fachada lateral esquerda



**Fonte:** Do autor, 2025.

Além de manchas de umidade e irregularidades no reboco da lateral esquerda, conforme figura 28.

**Figura 28** – Manchas de umidade e irregularidades na fachada lateral esquerda



**Fonte:** Do autor, 2025.

O estado geral de conservação da edificação foi considerado regular, com sinais de degradação precoce em elementos restaurados há menos de cinco anos, indicando a necessidade de um programa de manutenção periódica para fins preventivos, para assim, prolongar a vida útil dos materiais e manter o patrimônio em um bom estado de conservação por períodos mais longos, economizando com intervenções mais robustas e/ou invasivas e contribuindo para a preservação do imóvel.

A seguir são apresentados os materiais produzidos durante a fase do estudo de caso.

A elaboração da FID da fachada frontal, figura 29. Este instrumento teve como objetivo o registro, classificação e detalhamento de forma sistemática de todas as manifestações patológicas identificadas durante a inspeção da Igreja Matriz de São Tomé. A ficha inclui:

- Descrição da manifestação patológica: especificação visual detalhada do tipo de dano observado (ex.: umidade, destacamento de revestimento, manchas, fissuras).
- Localização: identificação precisa da área ou elemento estrutural afetado (ex.: fachada principal).
- Intensidade e extensão: registro do alcance das manifestações, com o uso de sobreposição da imagem com a representação gráfica das manifestações patológicas pelo uso de hachuras no AutoCAD, permitindo uma compreensão rápida dos danos.
- Possíveis causas: levantamento preliminar das causas mais prováveis do surgimento das manifestações patológicas.
- Fotografia: imagens associadas para documentação visual direta da manifestação registrada.

Essa sistematização facilitou a posterior análise qualitativa e quantitativa das patologias encontradas, além de subsidiar diretamente o treinamento dos modelos de inteligência artificial pela criação de um banco organizado de imagens.

**Figura 29** – FID da Fachada Frontal - Igreja São Tomé

FICHA DE INSPEÇÃO DE DANOS		DANOS ENCONTRADOS	
<p>FACHADA FRONTAL</p> <p>Inspeção Visual</p> 		DESPRENDIMENTO DA PINTURA/REBOCO	X 
		ALVENARIA EXPOSTA	
		MANCHAS DE AÇÃO DE FOGO	
		MANCHAS DE UMIDADE	X 
		BIODEGRADAÇÃO	
		VEGETAÇÃO	X 
		MANCHA ESCURA (SUJIDADE)	X 
		PERDA DE SEÇÃO ELEMENTO	
		FISSURAS/TRINCAS	X 
		IMPERFEIÇÕES	X 
		PRESENÇA DE ANIMAIS (AVES)	X 
		VANDALISMO	
	CROSTA NEGRA		
	MOFO/BOLOR	X 	

**Fonte:** Do autor, 2025.

A inspeção visual revelou a presença de diversas anomalias nas fachadas e ambientes internos, como manchas negras, eflorescências, bolhas, trincas e perda de revestimento. Essas manifestações foram localizadas e classificadas conforme seus tipos, extensão e localização, conforme demonstrado no mapa de danos (Figura 30 e 31).

O Mapa de Danos é um complemento essencial à FID, sendo uma representação gráfica e espacial das manifestações patológicas na edificação estudada. Através dele, é possível visualizar rapidamente a distribuição e concentração dos danos nas diferentes áreas da igreja.

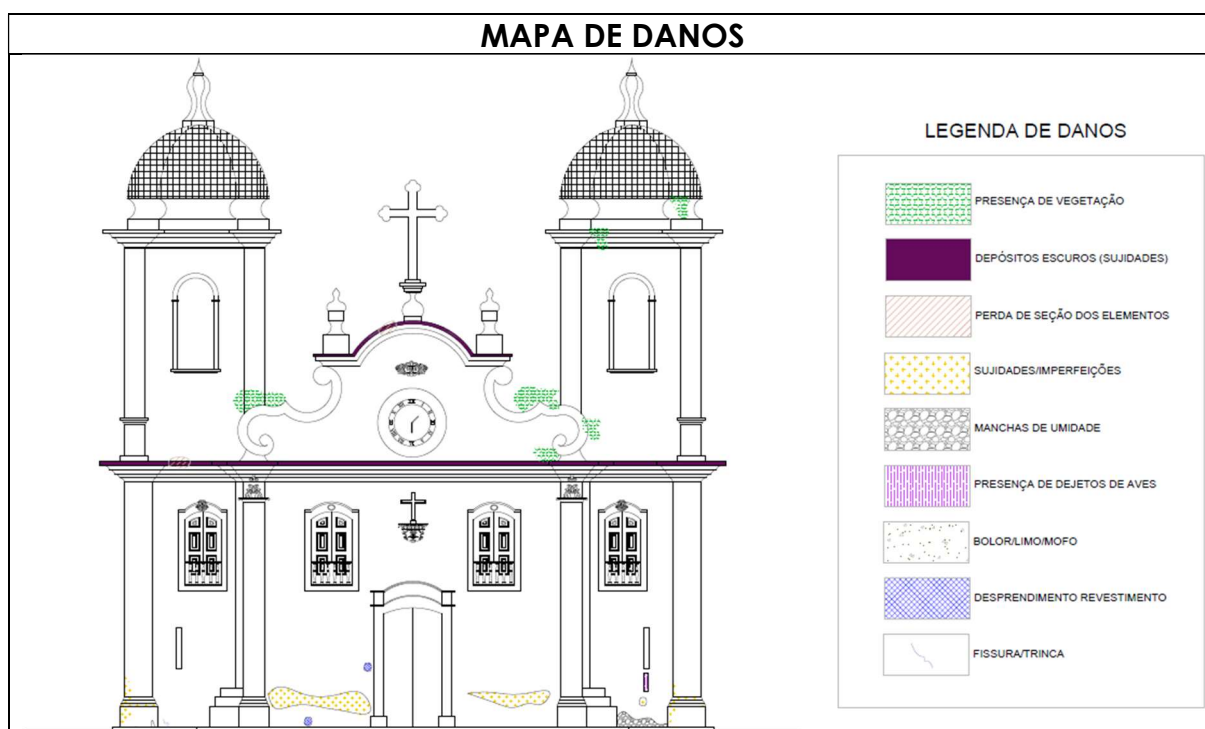
Para sua elaboração, foram adotadas as seguintes etapas:

1. Levantamento gráfico básico da edificação: representação esquemática das fachadas e áreas internas, com identificação clara dos ambientes e elementos construtivos principais.

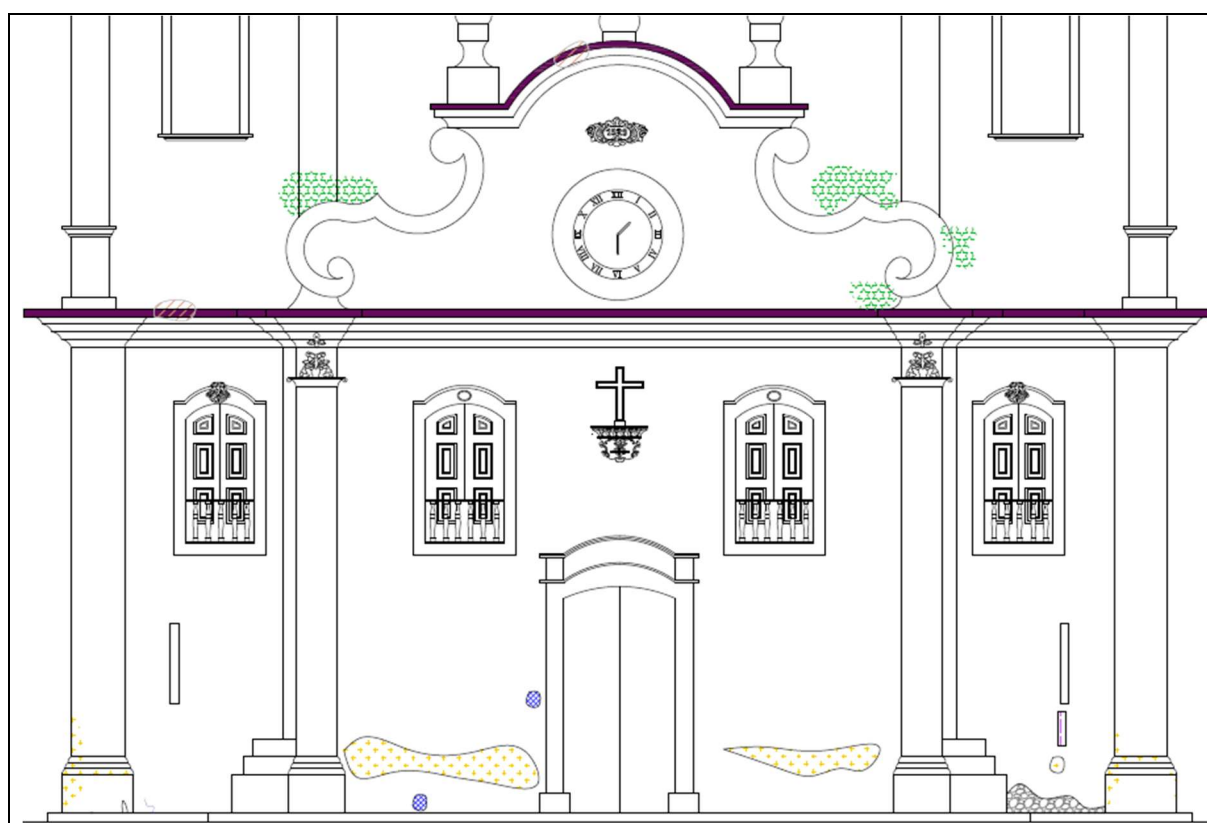
2. Marcação das patologias: cada patologia foi representada visualmente com símbolos ou cores específicas, facilitando a identificação rápida (ex.: azul para umidade, vermelho para destacamentos).
3. Classificação da severidade: além da localização, o mapa incluiu uma indicação visual da severidade ou urgência de intervenção (leve, moderado ou grave).

O mapa de danos possibilitou uma compreensão visual intuitiva do estado geral de conservação da Igreja Matriz, revelando áreas prioritárias para intervenções e manutenções futuras.

**Figura 30** – Mapa de danos da fachada frontal - Igreja São Tomé



Fonte: Do autor, 2025.

**Figura 31** – Detalhe com ampliação dos danos mapeados

Fonte: Do autor, 2025.

## 3.2 Análise dos Danos com IA

### 3.5.1 Aquisição de imagens

A coleta de imagens para a etapa de treinamento da inteligência artificial foi realizada durante inspeção presencial à Igreja Matriz de São Tomé, utilizando dois equipamentos: uma câmera de celular (iPhone 15), também foram realizadas coletas com uma câmera termográfica FLIR TG165-X à título de auxílio para o mapeamento dos danos, mas que não fizeram parte dos testes e, portanto, não foram contabilizadas nos dados deste estudo.

Essa atividade teve o objetivo de criar a base de dados, buscando o maior número possível de imagens, pois, a partir destas, foram realizados os treinamentos e testes na ferramenta de IA escolhida para o estudo de caso, a *Custom Vision*. A tabela 12 apresenta as informações referentes ao levantamento.

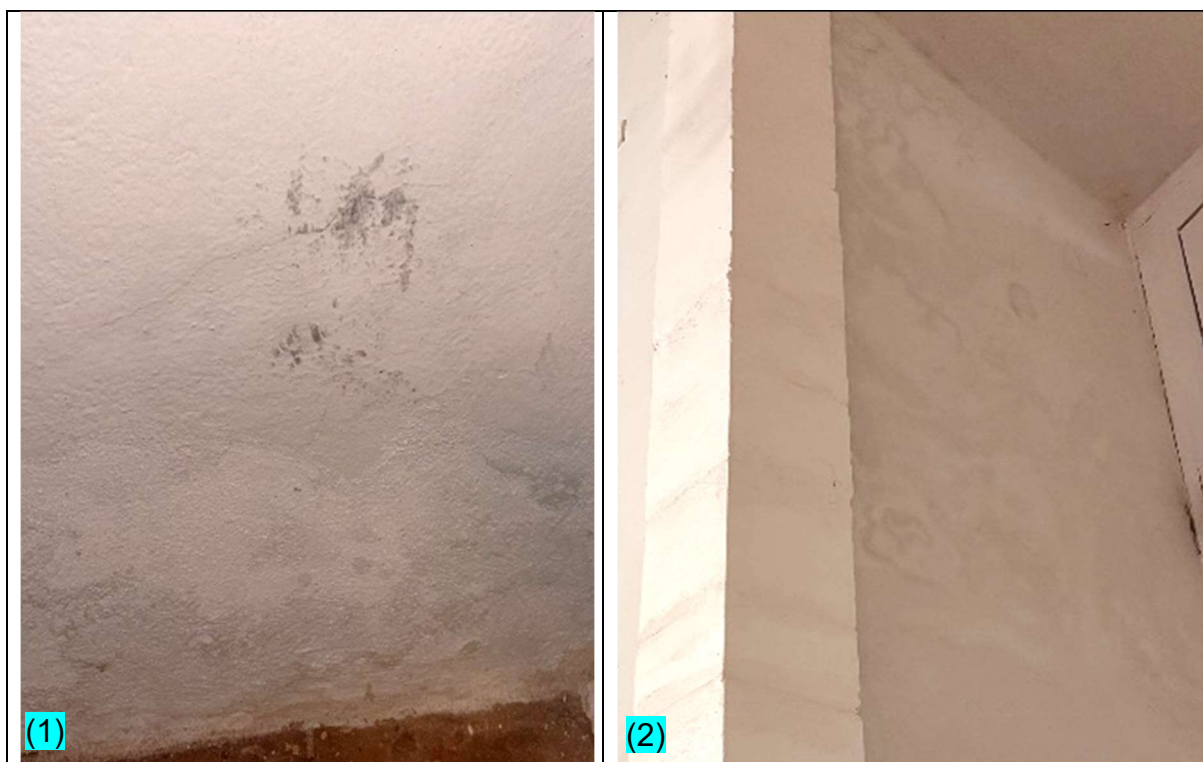
**Tabela 12** – Características da visita à Igreja

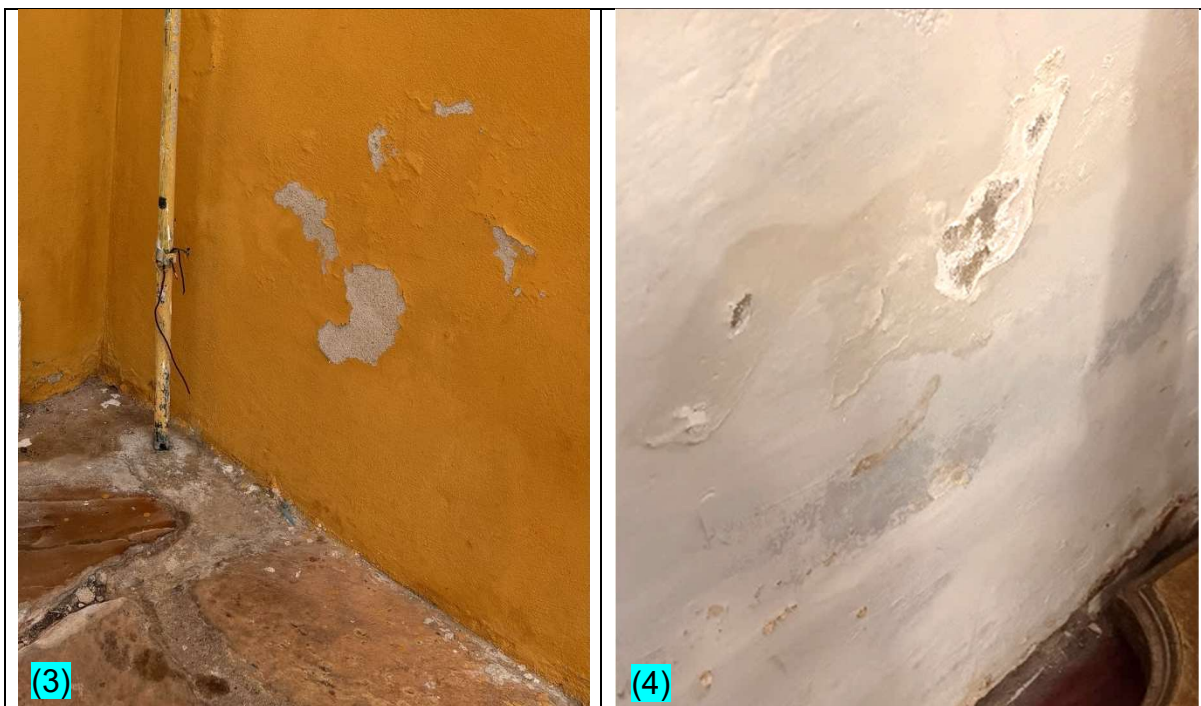
<b>Data</b>	<b>Observador</b>	<b>Horário</b>	<b>Duração</b>	<b>Aparelho Utilizado</b>	<b>Nº de Fotos</b>
21/04/2025	Andresa	12h10	3h40min	Iphone 15	162
TOTAL			3h40min	-	162

Fonte: Do autor, 2025.

A partir da inspeção realizada *in loco*, realizou-se o mapeamento por imagens das manifestações patológicas para posterior análise e diagnóstico, sendo verificadas visualmente e separadas de acordo com as manifestações patológicas presentes.

Para a etapa de classificação e inspeção automatizada, utilizou-se as imagens convencionais, totalizando 162 imagens, nas quais foram identificadas diversas manifestações patológicas, realizando-se um recorte com as que mais se repetiam para compor os bancos de dados dos testes, sendo elas: (1) umidade ascendente; (2) manchas negras; (3) destacamento de pintura; e (4) desprendimento de revestimento (Figura 32).

**Figura 32** – Manifestações patológicas identificadas



Fonte: Do autor, 2025.

Após essa atividade, observaram-se quais manifestações patológicas poderiam ser identificadas e treinadas a partir das imagens coletadas pelo software para reconhecimento automatizado.

Para o estudo proposto neste trabalho, considerou-se as análises realizadas por outros autores com o uso de ferramentas de aprendizado de máquina para visão computacional no ramo de patologia das construções como o de SILVA (2023) e decidiu-se por seguir pela metodologia de criar modelos específicos para análise de cada manifestação patológica de forma isolada, buscando assim, validar esta abordagem. O tipo de manifestação patológica escolhido para a detecção nos modelos foi o de destacamento de pintura, tal escolha se realizou pela maior quantidade de imagens que apresentavam este item, viabilizando assim, a criação de um maior banco de dados, além de ser uma manifestação patológica mais específica de ser verificada por meio de imagens convencionais, o que auxiliaria na análise dos modelos.

Inicialmente havia sido previsto o uso de imagens apenas do banco de dados referente ao levantamento do estudo de caso, porém, a utilização de outras bases de dados foi realizada devido a necessidade de um número maior de imagens com as manifestações patológicas foco deste estudo para treinamento da IA. As bases

acrescentadas foram, uma acadêmica, fornecida em aula pelo Professor Eduardo Cabaleiro Cortizo do Departamento de Tecnologia do Design, da Arquitetura e do Urbanismo – TAU da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais) e, uma técnica, parte do levantamento e laudo técnico para o projeto de restauro da igreja, de 2019, realizado pela Atlantes Ateliê de Restauro e Patrimônio.

Dessa forma, foram criados três modelos no *Custom Vision*: O primeiro modelo utilizou parte das imagens coletadas em campo durante a visita. Enquanto o segundo modelo treinado acrescentou ao primeiro modelo imagens da base de dados de manifestações patológicas fornecida em aula pelo Professor Eduardo Cabaleiro Cortizo do TAU-UFMG. Já para o terceiro modelo, acrescentou-se as imagens do laudo técnico realizado pela empresa Atlantes Ateliê de Restauro e Patrimônio (2019), que fez o levantamento de todas as manifestações patológicas presentes à época na igreja. Após este levantamento, a igreja passou por algumas reformas e intervenções entre 2021 e 2023 que contemplaram a troca do telhado e toda sua estrutura constituinte, a manutenção e revitalização das fachadas externas e a revitalização da pintura da capela-mor e nave da igreja, além da restituição de parte danificada do piso constituinte da nave da igreja.

### **3.3 Elaboração do Projeto e Testes utilizando IA**

Nesta etapa foram criados os projetos e realizados testes iniciais no *Custom Vision*® com o objetivo de treinar a ferramenta em relação as imagens coletadas e as manifestações patológicas presentes nelas. Além disso, os testes tiveram como objetivo identificar as oportunidades e limitações e elaborar estratégias para superá-las nas etapas posteriores a este estudo.

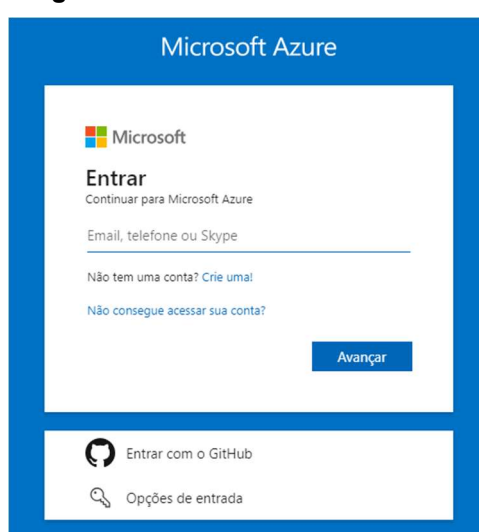
A ferramenta escolhida para a análise automatizada das imagens foi a *Microsoft Custom Vision*® disponível na plataforma da *Azure*, a ferramenta foi escolhida por ser de fácil usabilidade, podendo ser amplamente utilizada pelos mais diversos profissionais e para os mais diversos usos, como apresentado anteriormente. Além disso, por ser uma ferramenta pronta mas que pode ser personalizada pelos usuários,

inclusive com a criação de modelos específicos a depender das necessidades do usuário com o uso de programação de dados.

Para a etapa de criação do projeto, foram realizados os seguintes procedimentos:

1. Acessas a plataforma da *Azure* e criar ou entrar em uma conta da Microsoft ou, para os casos voltados para a programação de dados, é possível logar direto com uma conta do GitHub (figura 33)

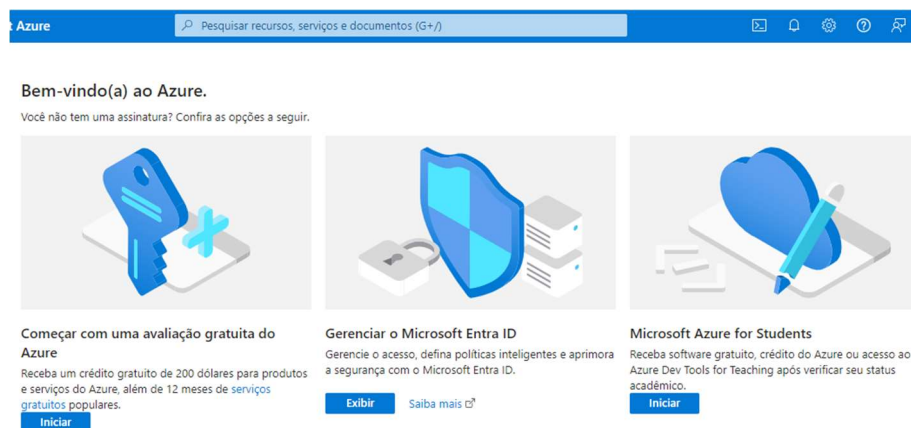
**Figura 33** – Acesso à conta da Azure



**Fonte:** Do autor (2025)

2. Após o login, é realizada a escolha da assinatura, sendo possível utilizar uma conta empresarial, pessoal ou educacional (figura 26);

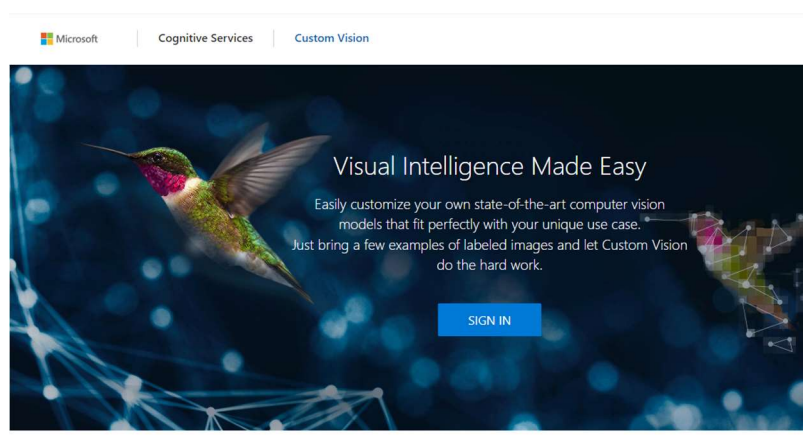
**Figura 34** – Escolha do tipo de conta



**Fonte:** Do autor (2025)

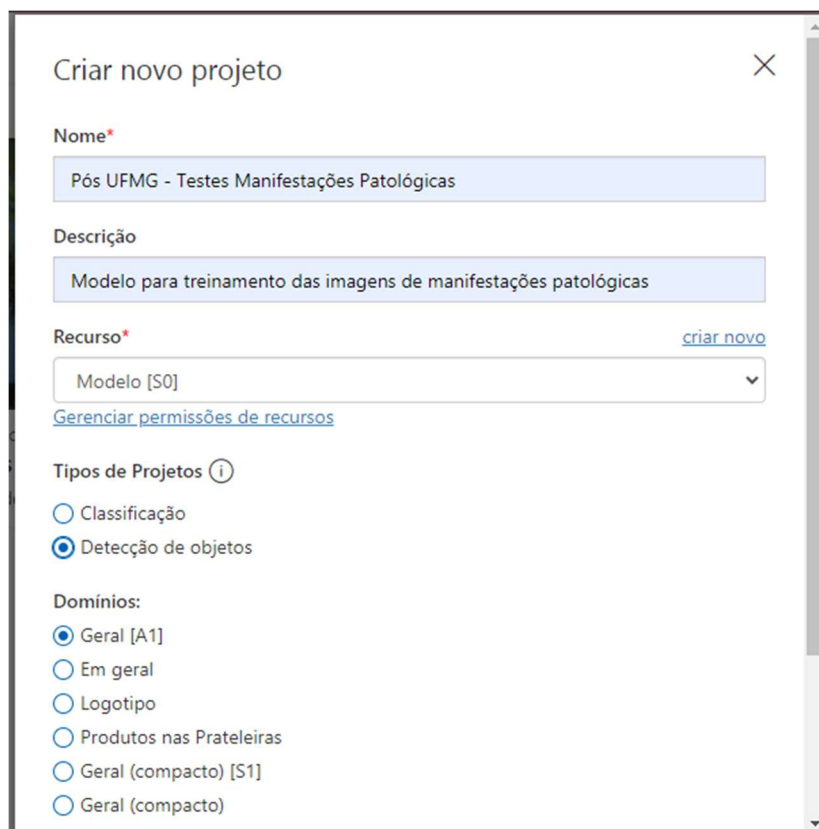
3. Acesso à Plataforma específica do *Custom Vision*, dentro da Azure ou pelo site ([www.customvision.ai](http://www.customvision.ai)), com a criação de uma chave de acesso que ficará conectada a todos os projetos criados nesta conta, podendo ser compartilhada (figura 35);

**Figura 35** – Acesso ao Microsoft Custom Vision



**Fonte:** Do autor (2025)

4. Após, parte-se para a criação de um novo projeto (figura 36), com a escolha do recurso (assinatura escolhida para a ferramenta), o tipo de modelo, escolhendo entre classificação de imagens (onde a ferramenta indica o que existe nas imagens apresentadas, como por exemplo, imagens com animais, com frutas, com plantas, dentre outros) ou a detecção de objetos em uma imagem (onde a ferramenta além de detectar o que existe nas imagens apresentadas, indica também a localização destes objetos dentro das imagens), sendo esta última o modelo utilizado para o reconhecimento automatizado de manifestações patológicas pois, é necessário detectar a localização e extensão destas manifestações nas imagens e, por fim, a escolha do domínio, que são predefinições dos tipos de imagens a serem treinadas pela ferramenta, como por exemplo, produtos, logotipos ou modelos mais gerais, se dividindo entre compactos ou mais abrangentes, este último o caso utilizado nos testes do estudo.

**Figura 36** – Escolha do modelo para criação

Criar novo projeto

Nome\*

Pós UFMG - Testes Manifestações Patológicas

Descrição

Modelo para treinamento das imagens de manifestações patológicas

Recurso\* [criar novo](#)

Modelo [S0]

[Gerenciar permissões de recursos](#)

Tipos de Projetos ⓘ

Classificação

Detecção de objetos

Domínios:

Geral [A1]

Em geral

Logotipo

Produtos nas Prateleiras

Geral (compacto) [S1]

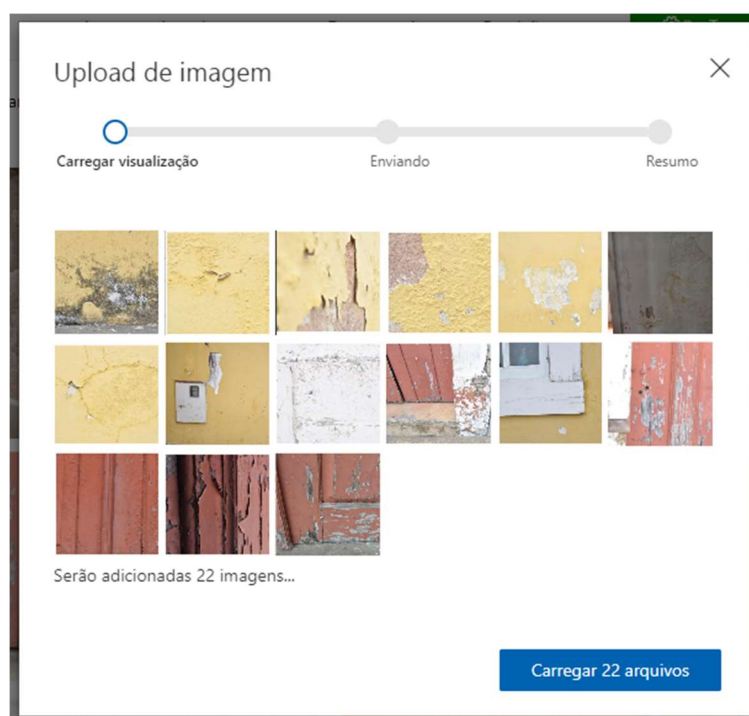
Geral (compacto)

Fonte: Do autor (2025)

Para os testes iniciais, após a coleta e classificação das imagens convencionais de acordo com a manifestação patológica presente, foram realizados os treinamentos dos modelos criados, para, após, avaliar o desempenho do software em relação aos dados obtidos. Esse processo contemplou os seguintes procedimentos:

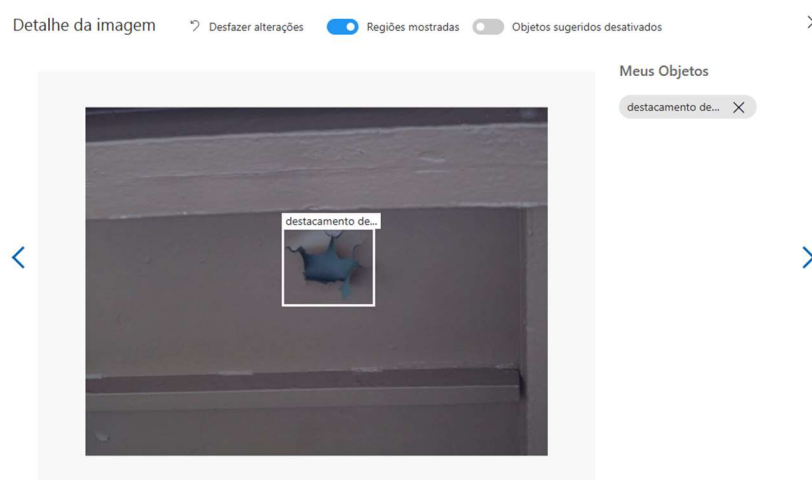
1. Adicionar as imagens coletadas e classificadas para os testes. No caso do estudo, todas as imagens que apresentassem a manifestação patológica de destacamento de pintura, sendo estas carregadas para dentro do modelo (figura 37).

Na etapa de adição das imagens, é realizado o upload dos dados adquiridos, sendo um requisito do próprio sistema imagens com o tamanho máximo de 6MB. Após, utiliza-se o recurso “detecção de objetos”, no qual as classes são rotuladas pelo usuário para em seguida treinar o algoritmo.

**Figura 37** – Adição das imagens selecionadas para o modelo

**Fonte:** Do autor (2025)

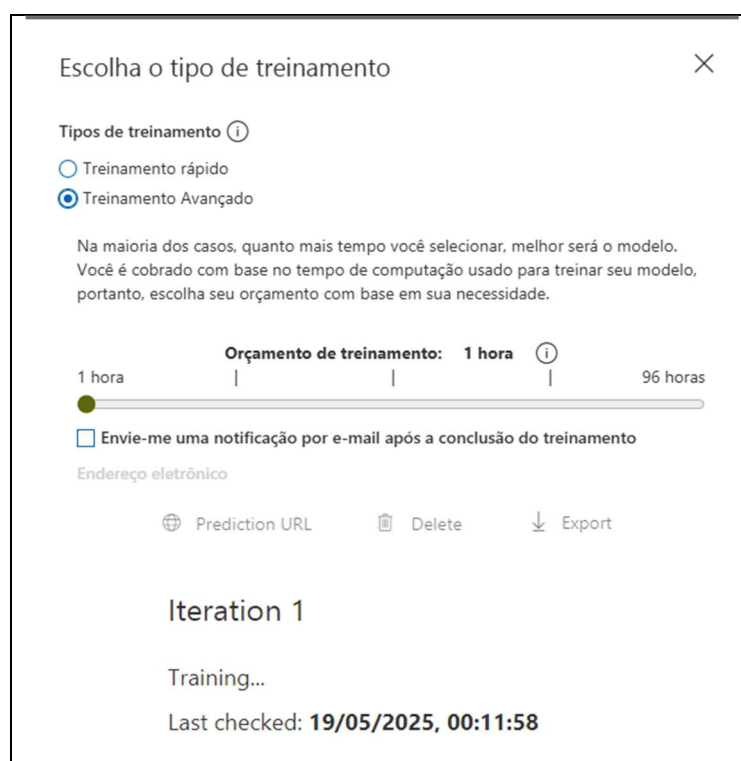
2. Após, foi realizada a pré-classificação das manifestações patológicas presentes nas imagens para treinamento do modelo. Sendo um passo necessário neste tipo de ferramenta de treinamento supervisionado, pois é preciso demonstrar previamente à IA o que ela deve procurar e que é esperado de resultado para o modelo (figura 38);

**Figura 38** – Pré-seleção das manifestações patológicas para treinamento

**Fonte:** Do autor (2025)

- Depois, escolhe-se o tipo de treinamento para o modelo entre rápido e avançado, onde o primeiro possui indicação pela própria plataforma para iterações mais simples e o segundo, onde o usuário escolhe o tempo de treinamento que, conforme indicação dos desenvolvedores, quanto maior, melhor o desempenho do modelo, especialmente em conjunto de dados mais desafiadores, pois o *CustomVision* identifica experimentalmente as melhores configurações de treinamento e de iterações - sendo este o escolhido para os testes do estudo, e treinar o modelo criado (figura 39);

**Figura 39** – Treinamento do modelo



**Fonte:** Do autor (2025)

- Assim que o software realiza o treinamento do modelo criado, é executado um processo chamado *k-fold cross validation* (validação cruzada) determinando a precisão do algoritmo. Ao final do treinamento, a plataforma entrega os resultados do modelo e possibilita testar o modelo criado com novas imagens inseridas para verificação do desempenho do modelo, conforme ilustrado na Figura 40. Importante

ressaltar que as novas imagens devem ser diferentes das que foram utilizadas para treinamento do modelo para garantir seu desempenho.

**Figura 40** – Teste do modelo com novas imagens para identificação



**Fonte:** Do autor (2025)

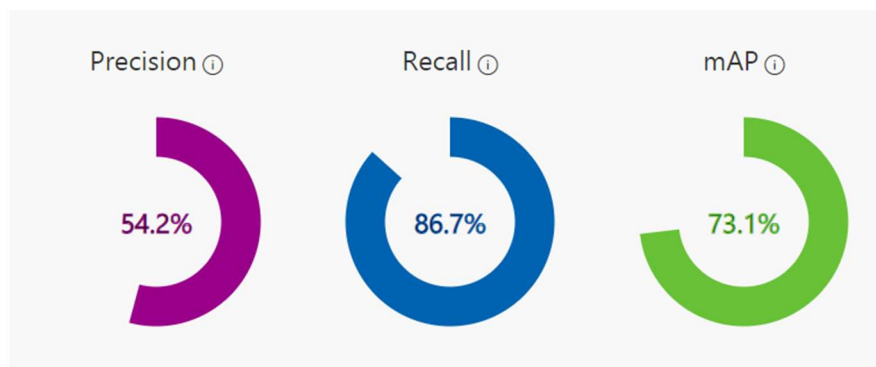
Além da apresentação do desempenho geral do modelo criado, o software apresenta o desempenho de cada item treinado, ou seja, de cada manifestação patológica treinada, possibilitando a identificação de qual item necessita de mais dados de entrada para treinamento ou de refinamento das detecções automáticas. Quando o número de imagens enviadas é inferior a 50 (cinquenta), o software recomenda o envio de mais imagens para garantir o desempenho do modelo.

### 3.4 Resultados da etapa de desenvolvimento do modelo

O primeiro modelo criado e treinado com as imagens apenas do banco de dados da base acadêmica, com imagens que apresentavam manifestações patológicas classificadas (*tag*) com destacamento de pintura. Inicialmente separou-se 30 imagens que apresentavam esta manifestação e, após o upload das imagens, realizou-se as marcações demonstrando as manifestações em cada imagem, seguido do

treinamento avançado do modelo, esta etapa de treinamento avançado do modelo dura no mínimo 1 (uma) hora, sendo apresentados ao fim pela ferramenta os indicadores de desempenho, figura 41.

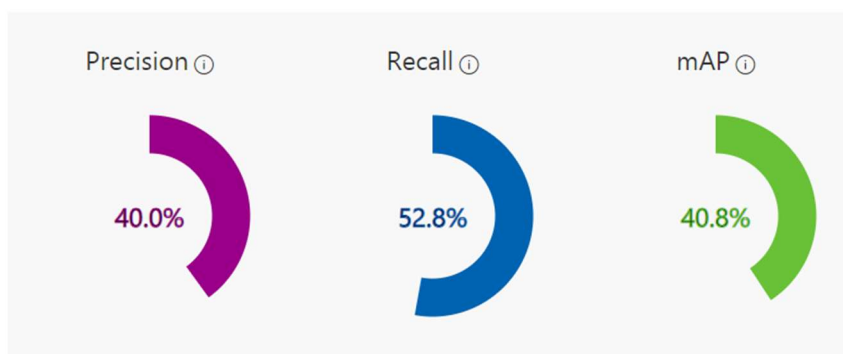
**Figura 41** – Indicadores de desempenho do *Custom Vision* no Modelo 1



**Fonte:** Do autor, 2025.

É possível observar que neste primeiro modelo a manifestação patológica analisada contém menos de 50 imagens, que é a recomendação mínima de dados de entrada que o *CustomVision* indica para que o modelo tenha um resultado satisfatório. Isto explicaria o resultado do indicador de precisão de 54,2%, considerado baixo, indicando que provavelmente devido ao baixo número de imagens de treinamento, o mesmo poderia confundir a manifestação patológica a ser identificada. Por este motivo, foi criado um novo modelo acrescido de cerca de 80% das imagens do estudo de caso que apresentava a manifestação patológica referente a destacamento de pintura.

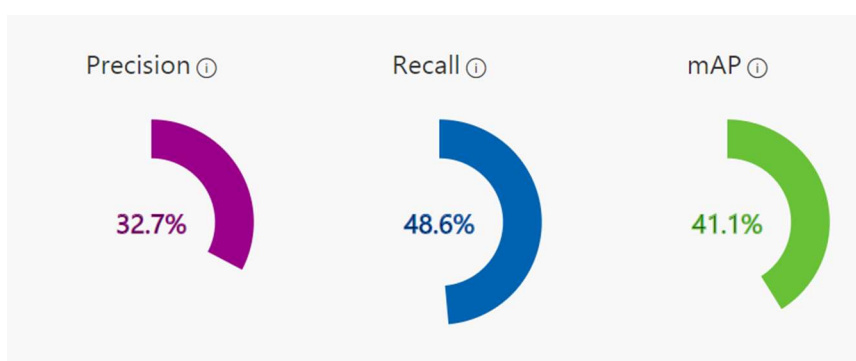
Para o segundo modelo, acrescentou-se ao primeiro as 22 imagens coletadas na fase de aquisição das imagens do estudo de caso que apresentavam manifestações patológicas classificadas (*tag's*) com destacamento de pintura, totalizando 52 imagens. Após o upload das imagens, realizou-se as marcações demonstrando as manifestações em cada imagem, seguido do treinamento avançado do modelo, sendo verificados ao fim, os indicadores de desempenho apresentados pela ferramenta, conforme figura 42.

**Figura 42** – Indicadores de desempenho do Custom Vision no Modelo 2

Fonte: Do autor, 2025.

Foi possível observar uma queda em todos os indicadores para o segundo modelo. No entanto, durante a elaboração dos modelos partiu-se do pressuposto de que quanto maior fosse o número de imagens utilizadas como entrada para treinar o algoritmo, maior seria o desempenho apresentado pela ferramenta, assim como SILVA (2023) que também considerou que quanto mais imagens, maior seria o entendimento do software.

Buscou-se então, a terceira base de dados para acrescentar mais imagens da manifestação patológica avaliada e tentar melhorar o modelo criado. Para este modelo, acrescentou-se 13 imagens referentes ao laudo técnico do Atlantes Ateliê de Restauro e Patrimônio (2019) que apresentavam destacamento de pintura, totalizando 65 imagens para treinamento do modelo. Após o upload das imagens, realizou-se as marcações (*tag's*) demonstrando as manifestações em cada imagem, seguido do treinamento avançado do modelo, sendo verificados ao fim, os indicadores de desempenho apresentados pela ferramenta, conforme figura 43.

**Figura 43** – Indicadores de desempenho do Custom Vision no Modelo 3

Fonte: Do autor, 2025.

Porém, o terceiro modelo demonstrou os piores indicadores de desempenho, divergindo totalmente da indicação de que apenas o tamanho do banco de dados influenciaria nos resultados do modelo.

Os três modelos desenvolvidos no *Microsoft Custom Vision*® foram avaliados com base em três métricas principais: Precisão (*Precision*), Revocação (*Recall*) e *mAP* (*mean Average Precision*). Os resultados evidenciam variações significativas de desempenho entre os modelos, conforme apresentado na Tabela 13.

Os indicadores de desempenho dos três modelos foram considerados baixos em relação a outros estudos, como o de STAFFA (2020), por exemplo. Se aproximando mais dos resultados obtidos por SILVA (2023), que, no geral, obteve valores baixos nos indicadores de seus modelos.

**Tabela 13** – Comparação dos indicadores de desempenho

<b>Modelo</b>	<b>Manifestação Patológica (Tag)</b>	<b>Nº de fotos</b>	<b>Precisão</b>	<b>Recall</b>	<b>mAP</b>
Modelo 1	Destacamento de pintura	30	54,2%	86,7%	73,1%
Modelo 2	Destacamento de pintura	52	40,0%	52,8%	40,8%
Modelo 3	Destacamento de pintura	65	32,7%	48,6%	41,1%

**Fonte:** Do autor, 2025.

O Modelo 1, elaborado apenas com o banco de dados acadêmico, obteve os melhores resultados de desempenho entre os três testados, com precisão de 54,2%, revocação de 86,7% e *mAP* de 73,1%. Esse resultado sugere que, apesar de tratar-se de um banco genérico e descontextualizado do objeto em estudo, sua diversidade de imagens e coerência interna (qualidade, resolução, padronização) favoreceu o aprendizado da rede. O alto valor de revocação indica que o modelo foi eficaz em identificar a maioria dos casos positivos, ainda que com ocorrência de falsos positivos.

A adição das imagens reais obtidas na inspeção da igreja para a elaboração do Modelo 2 provocou queda significativa no desempenho: precisão de 40,0%, revocação de 52,8% e *mAP* de 40,8%. Isso indica que as imagens coletadas in loco, embora contextualizadas, poderiam não apresentar os mesmos padrões de iluminação, distância e composição dos dados do banco inicial, além de se tratarem todas de um mesmo estudo, atrapalhando e dificultando o reconhecimento dos padrões pela IA. A

queda nos indicadores evidencia o desafio da heterogeneidade visual na composição dos conjuntos de treinamento.

O Modelo 3, com o acréscimo do banco de dados técnico e com o maior volume de imagens (65), apresentou os piores índices: precisão de 32,7%, revocação de 48,6% e mAP de 41,1%. A inclusão das imagens do levantamento técnico, embora relevantes, pode ter introduzido ainda mais homogeneidade visual e divergência de enquadramentos e rotulagens. Isso comprometeu a capacidade de generalização do modelo, reforçando a premissa de que apenas mais dados não implicam em melhores resultados, sendo necessário uma maior padronização na qualidade das imagens e um conjunto mais amplo e diverso de dados.

Apesar dos índices de desempenho considerados baixos para fins operacionais, os resultados validam a viabilidade da ferramenta como apoio ao diagnóstico, especialmente em contextos exploratórios e com bancos de imagens limitados. A IA mostrou-se capaz de identificar automaticamente manifestações visuais recorrentes, reduzindo o tempo de análise manual e padronizando a interpretação inicial dos danos. Para aplicações mais robustas, recomenda-se a ampliação do banco de imagens, abrangendo mais edificações de patrimônio histórico, o uso de imagens com qualidade mais padronizada para serem rotuladas com maior precisão e testes com arquiteturas mais avançadas, como por exemplo modelos não supervisionados.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta monografia teve como objetivo investigar o uso de inteligência artificial como ferramenta complementar no diagnóstico de manifestações patológicas em edificações históricas, com foco na aplicação de visão computacional. O estudo foi conduzido na Igreja Matriz de São Tomé, em São Tomé das Letras (MG), utilizando técnicas não destrutivas como o mapeamento por imagens, além do treinamento de modelos para a detecção automatizada de imagens com manifestações patológicas pelo uso do *Microsoft Custom Vision*®.

O trabalho de campo permitiu identificar manifestações patológicas recorrentes, com destaque para umidade ascendente, manchas de mofo, destacamento de pintura e deslocamento de revestimento. Essas manifestações foram documentadas e analisadas com base em fichas de inspeção e mapas de danos, ferramentas fundamentais para o diagnóstico e planejamento de intervenções e manutenções.

A etapa de aplicação da inteligência artificial demonstrou potencial para a automatização do reconhecimento de danos em imagens, embora tenha apresentado limitações relacionadas à quantidade, diversidade e qualidade das imagens utilizadas. Ainda assim, os resultados obtidos indicam que a utilização de ferramentas de aprendizado de máquina para visão computacional pode contribuir para a sistematização do processo de diagnóstico, reduzindo e otimizando o tempo de análise.

Conclui-se que a integração entre métodos tradicionais de diagnóstico e tecnologias, como a inteligência artificial, oferece caminhos promissores para a preservação do patrimônio histórico. O uso de ferramentas de fácil implementação, como o *CustomVision*®, pode apoiar a atuação de equipes técnicas, desde que aliadas a um protocolo de coleta de dados bem estruturado e à expertise profissional para análise dos resultados.

Recomenda-se o aprofundamento das pesquisas com ampliação dos bancos de imagens, inclusão de outras manifestações e teste de diferentes ferramentas de aprendizado de máquina, visando o desenvolvimento de metodologias mais robustas e replicáveis para o diagnóstico automatizado em edificações históricas.

## REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 14037: Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações – Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos**. Rio de Janeiro, 2024.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho**. Rio de Janeiro, 2024.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). TÉCNICAS. **NBR 16747: Inspeção predial – Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento**. Rio de Janeiro, 2020.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 5674: Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção**. Rio de Janeiro, 2024.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 16280: Reforma em edificações – Sistema de gestão de reformas – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2020.

ALVES, José Eustáquio Diniz. **População, bem-estar e tecnologia: Debate Histórico e Perspectivas**. Artigo - MultiCiência. Rio de Janeiro, 2006.

ATLANTES ATELIÊ DE RESTAURO E PATRIMÔNIO. **A Empresa**. Disponível em: <https://atlantesateliê.com.br/empresa/>. Acesso em: 15 mai. 2025.

BERNARDO, Daniel Farias da Silva. **Documentação e monitoramento do patrimônio arquitetônico moderno: os recalques do Edifício Copan**. 342 f. Dissertação – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

BOLINA, Fabrício Longhi; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Patologia das estruturas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

BORGES FILHO, Francisco. **O desenho e o canteiro no Renascimento Medieval (séculos XII e XIII): indicativos da formação dos arquitetos mestres construtores**. Tese – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas, 2016. 496 p.

CAMPÉLO, Douglas Ferreira Gadelha et al. **Mestres artífices de Minas Gerais**. Brasília: IPHAN, 2012. 160 p. (Cadernos de Memória; 1).

CASTRIOTA, Leonardo Barci. **Intervenções sobre o patrimônio urbano: modelos e perspectivas**. Fórum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, set./dez. 2007.

CASTRIOTA, Leonardo Barci. **Patrimônio cultural: conceitos, políticas, instrumentos**. Belo Horizonte: Edição do Autor, 2009. 379 p.

CARRIO, Juan Monjo. **Patología de cerramientos y acabados arquitectonicos**. Barcelona: Ediciones UPC, 1997.

CORTIZO, Eduardo Cabaleiro. **Avaliação da técnica de termografia infravermelha para identificação de estruturas ocultas e diagnóstico de anomalias em edificações: ênfase em edificações do patrimônio histórico**. 2007. 178 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2007.

D'AURIA, Carla Alfonsina. **São Thomé das Letras: História, Cultura e Meio Ambiente**. 2023. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=pPj6EAAAQBAJ>. Acesso em: 14 maio 2025.

GOODFELLOW, Ian; BENGIO, Yoshua; COURVILLE, Aaron. **Deep Learning**. Cambridge, MA: MIT Press, 2016.

GOMES, Marcos Vinicius dos Santos. **Manifestações patológicas causadas por umidade em edificações**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

HELENE, Paulo. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2. ed. São Paulo: PINI, 2007.

IBGE. **São Thomé das Letras – MG. Censo Demográfico 2022**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/sao-thome-das-letras/panorama>. Acesso em: 12 dez. 2024.

IBM. **Artificial Intelligence: What it is and why it matters**. IBM Cloud Education. 2024. Disponível em: <https://www.ibm.com/topics/artificial-intelligence>.

ICOMOS. **Carta Internacional sobre Análise, Conservação e Restauração de Estruturas do Patrimônio Arquitetônico**. Paris, 2003.

IGTECH. **Diagnóstico Urbano Territorial de São Tomé das Letras – MG**. Belo Horizonte, 2024.

INSTITUTO ESTADUAL DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO DE MINAS GERAIS (IEPHA-MG). **Processo de Tombamento Estadual do Centro Histórico de São Thomé das Letras**. Belo Horizonte, 1984.

IEPHA-MG. **Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais**. Disponível em: <https://www.iepha.mg.gov.br>. Acesso em: 13 dez. 2024.

IEPHA/MG. **Centro histórico e Igreja Matriz de São Thomé das Letras**. 2016. Disponível em: <https://www.iepha.mg.gov.br/index.php/programas-e>

acoes/patrimonio-cultural-protetido/bens-tombados/details/1/75. Acesso em: 18 fev. 2025.

IPHAN. **Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional**. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br>. Acesso em: 30 mar. 2025.

IPHAN; UNESCO; BRASIL. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. **Programa Monumenta: cadernos técnicos – encargos**. Brasília: 2004.

KAUFMAN, Dora. **Desmistificando a Inteligência Artificial**. Belo Horizonte. Editora Autêntica, 2022.

MCCARTHY, John. **What is Artificial Intelligence?**. Stanford University, 12 nov. 2007. Disponível em: <http://www-formal.stanford.edu/jmc/whatisai.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2025.

MELO JÚNIOR, C. M.; EVANGELISTA JUNIOR, F.; SILVA, L. S. da; NEPOMUCENO, A. A. **Geração de mapas de danos de fachadas de edifícios por processamento digital de imagens capturadas por Vant e uso de fotogrametria digital**. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 18, n. 3, p. 211-226, 2018.

MRM Construtive Solutions. **Quais as diferenças entre laudo técnico, vistoria, perícia e inspeção predial?**. Disponível em: <https://www.mrmcs.com.br/site/index.php/author/cloudesign/>. Acesso em: 26 fev. 2025.

NILSSON, Nils J. **The quest for artificial intelligence**. Cambridge University Press. 10.1017/CBO9780511819346, 2009.

PMSTL - PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO TOMÉ DAS LETRAS. **62 Anos de Emancipação política de São Thomé das Letras: Uma Cidade Entre a História e a Lenda**. Disponível em: <https://saotomedasletras.mg.gov.br/62-anos-de-emancipacao-politica-de-sao-thome-das-letras-uma-cidade-entre-a-historia-e-a-lenda/>. Acesso em: 15 mai. 2025.

ROCHA, Eudes de Arimatéa; CARNEIRO, Arnaldo Manoel Pereira; MONTEIRO, Eliana Cristina Barreto. **Termografia de infravermelho e mapa de danos na inspeção de uma igreja histórica em Olinda (PE)**. *Revista CPC*, São Paulo, v. 18, n. 35, p. 95-139, 2023.

ROCHA, Aline Maracahipe; BREMER, Cynara Fiedler; CORTIZO, Eduardo Cabaleiro. **Termografia como técnica não destrutiva no diagnóstico de patologias em peças de madeira**. XVI Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira. USP, São Carlos, 2018.

RUSSELL, Stuart. **Human Compatible: Artificial Intelligence and the Problem of Control**. Editora Viking. 2019.

São João del Rei – A terra do Barroco. **Morfologia de uma igreja barroca.** Disponível em: <https://barrocosaojoadelrei.blogspot.com/2013/04/morfologia-de-uma-igreja-barroca.html>. Acesso em: 15 mai. 2025.

São Tomé Online. **Século 19: Facchinetti em São Tomé das Letras.** Disponível em: [https://jornal.saotome.online/p/stl\\_nas\\_telas](https://jornal.saotome.online/p/stl_nas_telas). Acesso em 09 abr. 2025.

SILVA, Alisson de Souza da. **Método para reconhecimento automatizado de falhas construtivas na execução de fachadas com uso de drones e aprendizado máquina.** 2023. 181 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2023.

STAFFA, L. B. SÁ, L. S.V. LIMA, M. I. S. C. COSTA, D. B. **Uso de técnicas de processamento de imagem para inspeção de estruturas de telhados de edificações para fins de assistência técnica.** Encontro Nacional De Tecnologia No Ambiente Construído, p. 1-8, 2020.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo: PINI, 1998.

TERRA FOUNDATION FOR AMERICAN ARTS. **Picturing the Americas – SÃO TOMÉ DAS LETRAS.** Disponível em: <https://picturingtheamericas.org/painting/sao-tome-das-letras/?lang=pt-pt#>. Acesso em: 9 abr. 2025.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; PACHECO, Fernanda. **Patologia e recuperação das estruturas de concreto.** São Paulo: PINI, 2013.

UNESCO. **Convenção para a Proteção do Patrimônio Mundial, Cultural e Natural.** Paris, 1972.

UNESCO. **Policy Document for the Integration of a Sustainable Development Perspective into the Processes of the World Heritage Convention.** Paris, 2015.

VERÇOZA, Ênio José. **Patologia das edificações.** Porto Alegre: Sagra, 1991.

XAVIER JÚNIOR, Edemar Dias; BORDA, Adriane; AURICH, Mauren; TORRES, Ariela da Silva. **Técnicas visuoespaciais para a detecção de manifestações patológicas em fachadas argamassadas.** *Research, Society and Development*, v. 11, n. 5, e59711528810, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i5.28810>. Acesso em: 10 maio 2025.